

NUOVA S.S. 341 "GALLARATESE" - TRATTO DA SAMARATE A CONFINE
CON LA PROVINCIA DI NOVARA - TRATTO NORD

STRALCIO FUNZIONALE DAL KM 6+500 (SVINCOLO S.S. 336 NORD)
AL KM 8+844 (SVINCOLO AUTOSTRADA A8)
"BRETELLA DI GALLARATE"

PROGETTO ESECUTIVO

 STUDIO CORONA	 Ingegneria del Territorio s.r.l. Ing. Valerio Bajetti Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-26211	ING. RENATO DEL PRETE Ing. Renato Del Prete Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5073	 ECOPLAN Studio di Ingegneria e Architettura Arch. Nicoletta Frattini Ordine degli Arch. di Torino e provincia n° A-8433	 E&G Engineering & Graphics S.r.l. Ing. Gabriele Incecchi Ordine degli Ingg. di Roma e provincia n° A-12102
	Ing. Renato Vaira (Ordine degli Ingg. di Torino e Provincia n° 4663 W)	 CONSORZIO UNING Società designata: GA&M Prof. Ing. Matteo Ranieri Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1137	SETAC Srl Servizi & Engineering Trasporti Ambiente Costruzioni Prof. Ing. Luigi Monterisi Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 1771	ARKE' INGEGNERIA s.r.l. Via Francesco Testa n. 2 - 70124 Bari Ing. Gioacchino Angarano Ordine degli Ingg. di Bari e provincia n° 5970

VISTO: IL RESPONSABILE
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE
INTEGRAZIONE DELLE
PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE

IL PROGETTISTA FIRMATARIO
DELLA PRESTAZIONE

GEOLOGO

COORDINATORE DELLA
SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE

Dott. Ing. Giancarlo LUONGO

Ing. Renato DEL PRETE

Ing. Valerio BAJETTI

Prof. Ing. Geol. Luigi MONTERISI

Ing. Gaetano RANIERI

BB 01

B-GEOLOGIA E GEOTECNICA

BB - GEOTECNICA
RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	BB01_T00GE00GETRE01_B.dwg		
M I 5 3 3	E	1 8 0 1	CODICE ELAB. P 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 1	B	-
D					
C					
B	EMISSIONE A SEGUITO DI ISTRUTTORIA INTERNA ANAS	MARZO 2021	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
A	EMISSIONE	LUGLIO 2020	PROF. ING. LUIGI MONTERISI	ING. VALERIO BAJETTI	ING. RENATO DEL PRETE
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
2.1 BRETTELLA DI GALLARATE	4
2.2 SVINCOLI	4
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	5
5. INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
5.1 CAMPAGNA DI INDAGINI 2010	8
5.2 CAMPAGNA DI INDAGINI 2018	10
5.3 CAMPAGNA DI INDAGINI 2019	11
5.4 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO (INDAGINI 2010)	11
5.5 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO (INDAGINI 2018 E 2019)	13
6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO	14
6.1 PROVE SCPT	14
6.2 PROVE PRESSIOMETRICHE	18
6.3 PROVE DI PERMEABILITÀ	19
6.4 INDAGINI GEOFISICHE	21
6.4.1 PROVE DOWN-HOLE	21
6.4.2 PROSPEZIONI SISMICHE DA SUPERFICIE (MASW)	24
6.5 PIEZOMETRI	24
6.6 POZZETTI ESPLORATIVI E PROVE DI CARICO SU PIASTRA	25
7. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	26
7.1 PROVE GEOTECNICHE SVOLTE	26
7.2 CLASSIFICAZIONE GRANULOMETRICA LITOTIPI	26
7.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE LITOTIPI	32
7.3.1 GHIAIE CON CIOTTOLI IN MATRICE SABBIOSA E GHIAIE ALTERATE (UG1/UG1A)	32
7.3.1 A CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE GHIAIE ALTERATE (UG1A)	32
7.3.1 B CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE GHIAIE IN MATRICE SABBIOSA (UG1)	34
7.3.1 C CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLE SABBIE E SABBIE LIMOSE CON GHIAIA (UG2)	37
7.3.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI VARI LITOTIPI	40
8. SUDDIVISIONE DEL PROGETTO IN TRATTE GEOTECNICAMENTE OMOGENEE	41
8.1 CARATTERI GEOTECNICI 1° TRATTO IN TRINCEA DA PROGR. 6+500 A PROGR. 7+250	41

1. INTRODUZIONE

La presente relazione illustra le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dall'asse stradale in oggetto, stralcio funzionale del Progetto Esecutivo del collegamento stradale tra Samarate ed il confine con la Provincia di Novara (cfr.fig.1.1), dal km 6+500 (svincolo S.S.336 nord) al km 8+844 (svincolo autostrada A8). Il tracciato stradale ricade nella zona interessata dal Piano territoriale d'area Malpensa ed è finalizzato al collegamento dell'Aeroporto con l'area Nord di Milano ed il basso varesotto, consentendo contemporaneamente una connessione dell'aerostazione con le aree orientali della Lombardia tramite il futuro sistema viabilistico Pedemontana-Gronda intermedia. Il settore all'interno del quale ricade il tronco stradale di progetto interessa la Provincia di Varese.

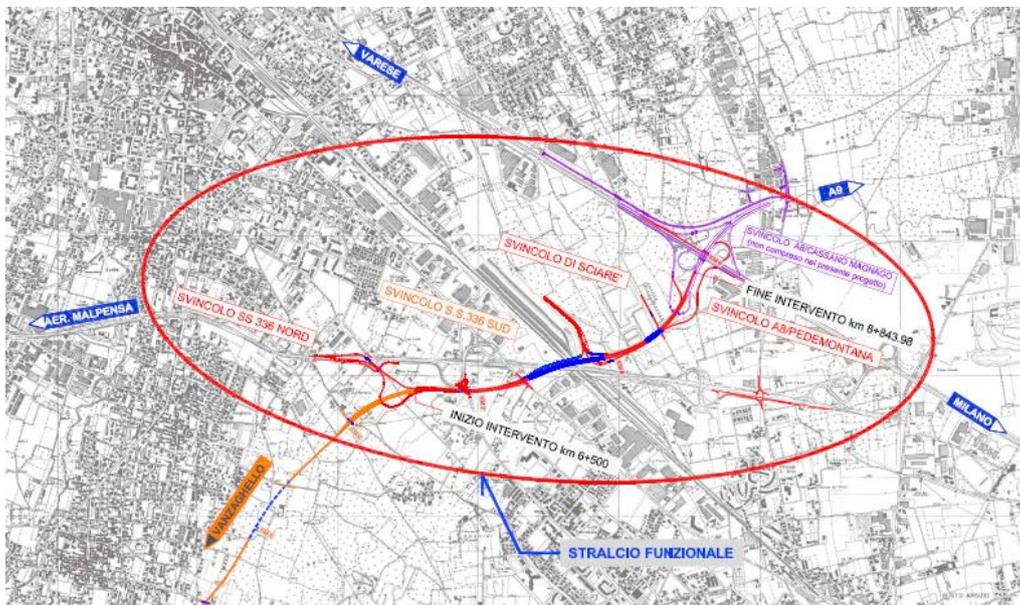


Fig.1.1 – Corografia della zona di intervento

Il tracciato stradale oggetto di studio si sviluppa in direzione E-O nella porzione settentrionale della Pianura Padana lombarda e amministrativamente appartiene alla Provincia di Varese. I comuni interessati dal tracciato sono i comuni di Busto Arsizio, Gallarate e Cassano Magnago. In figura 1.2 si riporta una vista aerea della zona interessata dalle opere che consente di prendere visione delle attuali condizioni al contorno.

Per la redazione degli elaborati geotecnici si è fatto riferimento allo studio condotto in fase di progetto definitivo (campagna di indagini 2010), integrato con le nuove indagini geotecniche eseguite nel Novembre 2018 e nel Maggio-Giugno 2019 (campagna di indagini 2018 e 2019).

Lo studio svolto è stato finalizzato ad identificare le caratteristiche geotecniche e sismiche dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto, evidenziando anche le criticità del tracciato.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'analisi dei risultati e la redazione della presente nota sono stati effettuati in funzione e nel rispetto delle seguenti Norme e Raccomandazioni:

- Capitolato d'Oneri: Prescrizioni per la redazione del Progetto Definitivo;
- D.M. 14 gennaio 2008: "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare n.617 del 2.02.2009, Gazzetta Ufficiale n. 47 del 26.02.2009 – Suppl. Ordinario n. 27 : "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008";
- Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche – AGI 1977;
- D.M. 17 gennaio 2018: aggiornamento "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.M. 161 del 10 agosto 2012;
- D.M. 11/03/1988 Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce ecc. (per quanto applicabile);
- Circolare 09/01/1996 n.218 Istruzioni applicative per la redazione della Relazione geologica e della Relazione geotecnica (per quanto applicabile).

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il settore di progetto è collocato in un contesto di media pianura caratterizzata da morfologie legate a deposizione fluvio-glaciale e fluviale di età quaternaria. L'assetto morfologico del territorio risulta omogeneo, essendo costituito principalmente dall'estesa piana fluvio-glaciale che si è formata nel Pleistocene medio-superiore durante il ritiro del Ghiacciaio del Verbano. Il territorio sub pianeggiante è caratterizzato da scarse evidenze morfologiche, anche per l'assenza di un reticolo idrografico particolarmente sviluppato, rappresentate da lievi ondulazioni e superfici rilevate di origine antropica (rilevati stradali, argini, ecc). Le pendenze degradano dolcemente da Nord verso Sud; la quota massima, di circa 250 m s.l.m., viene raggiunta all'altezza dello svincolo sull'autostrada A8, mentre in prossimità dell'abitato di Vanzaghello si raggiungono quote minime di circa 200 m s.l.m., con un gradiente medio attorno allo 0,6%.

In conclusione, i processi di modellamento dell'area in esame sono principalmente legati all'attività antropica. Le dinamiche naturali (reticolo idrografico) sono marginali: le informazioni relative sono riportate nella Carta Geomorfologica (P00.GE00.GEO.CG.04 e CG.05).

Per quanto riguarda l'assetto geologico regionale si rimanda alla Relazione geologica (P00.GE00.GEO.RE.01) ed alla carta geologica (P00.GE00.GEO.CG01/CG03). Di seguito si descrivono unicamente i terreni presenti nell'area in cui ricade il tracciato stradale in studio. Infatti, in tali zone affiorano soltanto i depositi quaternari, principalmente di età Pleistocenica, costituiti da alluvioni fluvio-glaciali ghiaiose (Wurm-Riss), localmente molto grossolane, con paleosuolo argilloso giallo-rossiccio di ridotta potenza. A luoghi affiorano litotipi di età

Olocenica costituiti da depositi eolici fini di colore giallastro (Loess), non direttamente interessati dal tracciato di Progetto.

L'analisi delle stratigrafie dei sondaggi realizzati durante le tre campagne di indagini (2010 per il Progetto definitivo e 2018/2019 per il Progetto esecutivo), i rilievi geologici e geomorfologici puntuali effettuati (in scala 1:5000 e 1:2000) e lo studio dei dati preesistenti, hanno permesso di ricostruire una sequenza stratigrafica caratterizzata dalla presenza, dal basso verso l'alto, di tre differenti unità:

- Unità delle Argille: si tratta di depositi fini di ambiente marino costituiti principalmente da argille limose, sabbie e limi argillosi di colore grigio-azzurro con rare intercalazioni di livelli ghiaiosi. I litotipi appartenenti a tale unità sono presenti a partire da oltre 90/100 m di profondità, pertanto non interagiscono con le opere in progetto e non sono stati raffigurati nei profili geologico e geotecnico.
- Unità delle alternanze Argille-Ghiaie: è caratterizzata da alternanze di orizzonti a litologia argilloso-limosa con rara ghiaia e livelli a litologia ghiaioso-sabbiosa in matrice argillosa con locale presenza di torba; l'ambiente deposizionale è di tipo transizionale. I depositi appartenenti a questa unità compaiono a partire da profondità superiori a 45 m circa, quindi non interagiscono direttamente con le opere in progetto.
- Unità delle ghiaie e sabbie: i litotipi appartenenti a questa unità sono presenti con continuità in tutto il tracciato di progetto e costituiscono i terreni di appoggio delle fondazioni delle opere d'arte previste nel progetto dell'infrastruttura in esame. Si tratta di depositi di origine continentale di ambiente fluviale/fluvioglaciale.

Dei terreni su descritti, l'infrastruttura stradale in progetto interesserà unicamente l'Unità delle sabbie e ghiaie. All'interno di tale Unità sono stati distinti nei Profili geologici (P00.GE00.GEO.FP.01/F.P07) tre litotipi principali, in rapporti eteropici, in funzione delle loro caratteristiche granulometriche ricavate dalle analisi di laboratorio:

- Il litotipo predominante (GCS nel profilo geologico) è costituito da ghiaie eterometriche, poligeniche, sub arrotondate con ridotto contenuto in ciottoli e blocchi; la matrice è generalmente abbondante costituita da sabbia e subordinati limo e argilla;
- Come litotipo subordinato (SG nel profilo geologico) sono state riconosciute delle sabbie limose, debolmente argillose, con ghiaia e subordinati ciottoli; le sabbie con ghiaia sono presenti generalmente a profondità superiori a 7-10 m;
- Sulla base delle analisi delle stratigrafie dei pozzi ad uso idropotabile presenti nel corridoio di progetto (pozzi PZ3 e PZ5 del comune di Vanzaghella e pozzo PZ8 del comune di Samarate) nel profilo geologico sono stati distinti inoltre degli orizzonti costituiti da ghiaia con ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa-argillosa (GSA nel profilo geologico).

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico, nell'area di progetto sono state distinte tre principali unità idrogeologiche, sulla base della loro omogeneità di costituzione (granulometria) e di continuità orizzontale e verticale, corrispondenti alle tre principali unità litotecniche distinte:

5. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il piano delle Indagini geognostiche per il Progetto Definitivo è stato realizzato dall'impresa RCT S.r.l. con sede in Viale Primo Maggio 6bis a Peschiera Borromeo (MI) nel periodo compreso tra il 30/08/2010 e il 30/09/2010. Le stratigrafie dei sondaggi, le relative foto, nonché i certificati ed i risultati delle prove in situ e delle prove di laboratorio realizzate sono riportati negli elaborati sulle indagini geognostiche, allegati al progetto, cui si rimanda.

Il piano delle Indagini geognostiche per il Progetto Esecutivo è stato realizzato dall'impresa TECNO IN S.p.A. con sede a San Donato Milanese (MI) Via Marcora, 52, nel Novembre 2018 e nel periodo Maggio-Giugno 2019. Le stratigrafie dei sondaggi, le relative foto, nonché i certificati ed i risultati delle prove in situ e delle prove di laboratorio realizzate sono riportati negli elaborati sulle indagini geognostiche, allegati al progetto, cui si rimanda.

L'ubicazione di tutte le indagini geognostiche e geofisiche disponibili è mostrata nello specifico elaborato "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche" in scala 1:5000 (P00.GE00.GEO.PU.01 e PU.02).

5.1 CAMPAGNA DI INDAGINI 2010

La campagna di indagini geognostiche 2010 è stata così articolata:

- n.6 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, di profondità compresa tra 25 e 50 m, per la definizione dell'assetto lito-stratigrafico lungo il tracciato;
- n.4 piezometri a tubo aperto, installati in quattro fori di sondaggio, per il controllo del livello piezometrico e della sua eventuale interferenza con le opere in progetto;
- n.2 prospezioni sismiche in foro (down-hole), in due dei sei sondaggi, attrezzati con tubo in PVC cementato, per la definizione della velocità delle onde sismiche (V_{s30}) e la classificazione del terreno dal punto di vista sismico;
- prove penetrometriche dinamiche SPT, eseguite in tutti i fori di sondaggio, sistematicamente ogni 1,5 metri;
- prove pressiometriche tipo Menard, eseguite in alcuni fori di sondaggio;
- prove di assorbimento d'acqua, tipo Lefranc, per valutare la permeabilità dei terreni.

Inoltre, all'interno di ogni sondaggio sono stati raccolti alcuni campioni rimaneggiati su cui sono state effettuate le usuali prove geotecniche di laboratorio per la verifica delle caratteristiche fisiche e di resistenza dei terreni.

La campagna di indagini è stata completata con la realizzazione di due pozzetti esplorativi spinti sino a circa tre metri dal piano campagna al cui interno sono state realizzate altrettante prove di carico su piastra per la definizione della capacità portante dei terreni di appoggio.

Nella tabella 1.1 seguente sono sintetizzate tutte le indagini svolte.

	Codice indagine	Sondaggi					Prove in sito				Prove di laboratorio			
		profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SCPT	pressiometro	Carico su piastra	Permeabilità lefranc.	Caratt. generali	granulometria	sedimentazione	edometrica
Sondaggi a carotaggio continuo	Sc-5-PD	25	1		5		16	1			5	5	3	
	Sc-6-PD	40	1		8		20				8	8	5	1
	Sc-7-PD	50		1	6		20			2	5	5		
	Sc-8-PD	50	1		5	2	20	1			3	3	2	1
	Sc-9-PD	50		1	5	2	20	1		2	3	3		
	Sc-10-PD	50	1		6		20	1			3	3	2	1
Pozzetti geognostici	Pz-3-PD	3			1				1		1	1		
	Pz-5-PD	3			1				1		1	1		

Tab.1.1 – Tabella riassuntiva indagini 2010

5.2 CAMPAGNA DI INDAGINI 2018

La campagna di indagini geognostiche 2018 è stata così articolata:

- n.6 sondaggi geognostici, a carotaggio continuo, di profondità compresa tra 25 e 35 m, per la definizione dell'assetto stratigrafico lungo il tracciato;
- n.2 piezometri a tubo aperto, installati in due dei fori di sondaggio, per il controllo del livello piezometrico e della sua eventuale interferenza con le opere in progetto;
- n.4 indagini sismiche in foro (down-hole) in quattro dei sei sondaggi, attrezzati con tubo in PVC cementato, per la definizione della velocità delle onde sismiche (Vs30) e la classificazione del terreno dal punto di vista sismico;
- n.2 indagini sismiche da superficie con tecnica MASW;
- n.35 prove penetrometriche dinamiche SPT, eseguite in tutti i fori di sondaggio;
- n.1 prova di assorbimento d'acqua, tipo Lefranc, per valutare la permeabilità dei terreni;

Inoltre, all'interno di ogni sondaggio sono stati raccolti numerosi campioni rimaneggiati (n.23) e, ove possibile, indisturbati (n.1) su cui sono state effettuate le usuali prove geotecniche di laboratorio per la verifica delle caratteristiche fisiche e di resistenza dei terreni.

La campagna di indagini è stata completata con la realizzazione di otto pozzetti esplorativi spinti sino a due metri dal piano campagna al cui interno sono state realizzate prove di carico su piastra per la definizione della capacità portante dei terreni di appoggio.

Nella tabella 1.2 seguente sono sintetizzate tutte le indagini svolte.

	Codice indagine	sondaggi					Prove in sito			Prove di laboratorio				
		profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SPT	Carico su piastra	Permeabilità Lefranc	Caratt. generali	granulometri	sedimentazione	Resistenza meccanica	edometrica
Sondaggi a carotaggio continuo	SE-03-DH	35		1	4		6			4	4	4		
	SE-04-PZ	25	1		4		5		1	4	4	4		
	SE-05-DH	35		1	4		5			4	4	4		
	SE-06-DH	35		1	3		4			3	3	3		
	SE-07-PZ	25	1		3	1	4			4	4	4	1	
	SE-08-DH	35		1	5		10			5	5	5		
Pozzetti geognostici	Pz-E-02	1			2			1		2	2			
	Pz-E-03	2			2			1		2	2			
	Pz-E-04	2			1			---		1	1			
	Pz-E-05	2			2			1		2	2			
	Pz-E-06	2			2			1		2	2			
	Pz-E-07	1			1			1		1				
	Pz-E-08	2			2			1		2	2			
	Pz-E-09	2		1	2			1		2	2			

Tab.1.2 – Tabella riassuntiva indagini 2018

5.3 CAMPAGNA DI INDAGINI 2019

La campagna di indagini geognostiche 2019 è stata così articolata:

- n. 4 sondaggi geognostici verticali di cui 3 a carotaggio continuo (SEi1, SEi2, SEi9 ed 1 a distruzione di nucleo (SEi10) finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con esecuzione di prove SPT in foro e prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico; di tali perforazioni, due perfori sono stati condizionati con piezometri a tubo aperto e due con tubazione per l'esecuzione di prove down-hole;
- n. 14 prove penetrometriche SPT;
- n. 7 prelievi di campioni rimaneggiati da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico (cfr. "Documentazione prove di laboratorio geotecnico");
- n. 2 prove simiche in foro down-hole;
- n. 1 prova sismica di superficie M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*).

Nella tabella 1.3 seguente sono sintetizzate le indagini integrative svolte nel 2019.

Codice indagine	sondaggi					Prove in sito			Prove di laboratorio				
	profondità	piezometro	Down-hoe	C.R.	C.I.	SPT	Carico su piastra	Permeabilità	Caratt. generali	Granulometria	sedimentazione	Resistenza meccanica	edometrica
SEi-01-DH	35		1	2		4			2	2			
SEi-02-PZ	30	1		3		5			3	3			
SEi-09-DH	35		1	2		5			2	2			
SEi-10-PZ	35	1											

5.4 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO (INDAGINI 2010)

Nella campagna di indagini 2010, all'interno dei fori di sondaggio e dei pozzetti esplorativi sono stati prelevati complessivamente n.38 campioni rimaneggiati, conservati in apposite buste etichettate, al fine di evitare variazioni del contenuto d'acqua naturale; infatti, le caratteristiche dei terreni incontrati (granulometria grossolana e coesione debole o assente) non hanno permesso il prelievo di campioni indisturbati. I campioni di terreno sono stati successivamente analizzati presso il laboratorio specializzato ISMGEO con sede a Seriate (BG) in via Pastrengo 9. I certificati ed i risultati delle prove di laboratorio riportati negli elaborati sulle indagini, allegati al progetto, cui si rimanda.

L'elenco dei campioni di terreno sottoposti alle prove di laboratorio è riportato nella tabella 2.1 seguente.

Sond.	C	da	a	Litotipo	U
Sc-5-PD	A	3	3.5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	B	6.5	7	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	C	10.5	11	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
	D	16.5	17	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	
	E	22.5	23	Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa	
Sc-6-PD	A	2	2.5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	B	5	5.5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	C	10.5	11	Ghiaia e sabbia limosa debolmente argillosa	
	D	13.5	14	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
	E	16.3	16.8	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	
	F	21.5	22	Sabbia limosa debolmente argillosa	
	G	27.5	28	Sabbia e ghiaia limosa	
	H	33.5	34	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
Sc-7-PD	A	2	2.5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	B	6	6.5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	C	11	1.5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	D	15.8	16.3	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	
	E	30	30.5	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	
Pz-3-PD	A			Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
Pz-3-PD	A			Ghiaia con sabbia debolmente limosa	

Sond.	C	da	a	Litotipo	U
Sc-8-PD	A	2.8	3.3	Ghiaia con sabbia limosa	
	B	7.5	8	Ghiaia con sabbia limosa	
	C	15.5	16	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	
	D	26.5	27	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa	
	E	34.5	34.8	Sabbia e limo argilloso	
	F	39.5	40	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
	G	44.5	45	Sabbia limosa debolmente ghiaioso-argillosa	
Sc-9-PD	A	2	2.5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	B	6	6.5	Ghiaia sabbiosa debolmente limoso-ciottolosa	
	C	9.5	10	Ghiaia	
	D	14	14.5	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
	E	23	23.5	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
	F	33.5	34	Sabbia limosa e ghiaia	
	G	39.5	40	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	
Sc-10-PD	A	4.5	5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	B	9.2	9.7	Ghiaia con sabbia limosa	
	C	12.5	13	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	D	16.5	17	Sabbia limosa con ghiaia	
	E	35.5	36	Sabbia limosa con ghiaia	
	F	42.2	42.7	Sabbia limosa con ghiaia	

Tab.2.1 - Tabella riassuntiva dei campioni di terreno analizzati in laboratorio
 (progetto definitivo - indagini 2010)

5.5 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO (INDAGINI 2018 E 2019)

Nella campagna di indagini 2018, all'interno dei fori di sondaggio e dei pozzetti esplorativi sono stati prelevati complessivamente n.37 campioni rimaneggiati (di cui 23 dai sondaggi e 14 dai pozzetti), conservati in apposite buste etichettate, al fine di evitare variazioni del contenuto d'acqua naturale. Infatti, le caratteristiche dei terreni incontrati (granulometria grossolana) hanno permesso il prelievo di un solo campione indisturbato (nel sondaggio SE07). I campioni di terreno sono stati successivamente analizzati presso il laboratorio geotecnico della ditta TECNO IN S.p.A.. I certificati ed i risultati delle prove di laboratorio riportati negli elaborati sulle indagini svolte, allegati al progetto, cui si rimanda.

L'elenco dei campioni di terreno sottoposti alle prove di laboratorio è riportato nella tabella 2.2 seguente.

Sond.	C	da	a	Litotipo	U
SE 03	01			Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	02			Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	
	03			Ghiaia con sabbia debolmente limosa	
	04			Sabbia ghiaioso-limosa	
SE 04	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Ghiaia sabbiosa	
	03			Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	
	04			Sabbia ghiaioso-limosa	
SE 05	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Sabbia ghiaioso-limosa	
	03			Sabbia ghiaioso-limosa	
	04			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
SE 06	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Sabbia ghiaioso-limosa	
	03			Sabbia ghiaioso-limosa	
SE 07	01			Sabbia limoso-argillosa debolmente ghiaiosa	
	02			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	03			Sabbia ghiaioso-limosa	
SE 07	CI1			Limo sabbioso-argilloso	
SE 08	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	03			Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	
	04			Sabbia limoso-argillosa debolmente ghiaiosa	
	05			Sabbia ghiaiosa debolmente limosa	

Tab.2.2 - Tabella riassuntiva dei campioni di terreno analizzati in laboratorio
 (progetto esecutivo - indagini 2018)

Nella campagna di indagini 2019, all'interno dei fori di sondaggio e dei pozzetti esplorativi sono stati prelevati complessivamente n.7 campioni rimaneggiati, conservati in apposite buste etichettate, al fine di evitare variazioni del contenuto d'acqua naturale. I campioni di terreno sono stati successivamente analizzati presso il laboratorio geotecnico della ditta

TECNO IN S.p.A.. I certificati ed i risultati delle prove di laboratorio riportati negli elaborati sulle indagini svolte, allegati al progetto, cui si rimanda.

L'elenco dei campioni di terreno sottoposti alle prove di laboratorio è riportato nella tabella 2.3 seguente.

Sond.	C			Litotipo	
SEi 01	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Sabbia ghiaioso-limosa	
SEi 02	01			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	02			Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	
	03			Sabbia ghiaiosa	
SEi 9	01			Sabbia e ghiaia	
	02			Sabbia ghiaioso-limosa	

Tab.2.3 - Tabella riassuntiva dei campioni di terreno analizzati in laboratorio
 (progetto esecutivo - indagini 2019)

6. RISULTATI DELLE INDAGINI IN SITO

Nei paragrafi seguenti viene fatta una breve sintesi dei risultati delle indagini geognostiche (prove in situ e di laboratorio) condotte per le fasi di progettazione definitiva ed esecutiva. Le stratigrafie dei sondaggi, dei pozzetti esplorativi, le relative foto, nonché i certificati ed i risultati delle prove in situ e delle prove di laboratorio realizzate, sono contenuti negli elaborati sulle indagini geognostiche, allegati al progetto, cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Il complesso dei risultati delle due campagne di indagini 2010 e 2018, riassunte nelle Tabelle 1 e 2, ha permesso di definire le principali caratteristiche geotecniche dei litotipi riconosciuti all'interno del tracciato stradale di progetto.

6.1 PROVE SCPT

Tenuto conto dei tipi litologici interessati dai sondaggi e della difficoltà di prelievo di campioni indisturbati, all'interno di quasi tutti i fori di sondaggio sono state eseguite sistematicamente prove penetrometriche dinamiche con punta conica SCPT (Standard Cone Penetration Test). Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati di dette prove.

Codice sondaggio	Profondità (m)	prof. Prova (m da b.f.)	litotipo	SPT			
				N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}
Sc-5-PD	25,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	6	5	5	10
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	12	12	6	18
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	37	R11		R
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	15	25	30	55
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	17	30	27	57
		9,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	10	11	21
		10,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	13	11	24
		12,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	12	13	25
		13,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	10	12	20	32
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	24	32	56
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	15	37	42	79
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	30	R12		R
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	34	R13		R
		21,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	36	45	45	90
		22,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	30	32	37	69
		24,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	35	39	40	79
Sc-6-PD	40,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	5	6	2	8
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	7	14	15	29
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	5	13	15	28
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	6	12	16	28
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	23	29	25	54
		9,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	18	21	19	40
		10,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	R12			R
		12,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	24	27	20	47
		13,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	13	13	16	29
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	16	14	17	31
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	21	26	31	57
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	30	40	R10	R
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	15	24	29	53
		21,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	17	27	30	57
		22,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	23	26	26	52
		24,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	29	31	27	58
		25,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	31	45	R8	R
		27,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	37	R12		R
28,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	25	37	R10	R		
30,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	18	28	26	54		
Sc-7-PD	50,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	12	10	8	18
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	5	4	3	7
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	30	R13		R
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	11	19	25	44
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	35	33	R12	R
		9,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	20	28	39	67
		10,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	39	R13		R
		12,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	45	R5		R
		13,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	35	40	R10	R
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	13	15	28
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	11	15	17	32
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	10	12	16	28
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	18	21	28	49
		21,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	22	26	33	59
		22,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	20	27	29	56
		24,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	28	36	42	78
		25,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	33	39	45	84
		27,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	30	34	42	76
28,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	21	27	37	64		
30,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	17	16	27	43		

Tab.3.1 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove SCPT
 (campagna di indagini geognostiche 2010 per il progetto definitivo)

Codice sondaggio	Profondità (m)	prof. Prova (m da b.f.)	litotipo	SPT			
				N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}

RELAZIONE GEOTECNICA

Sc-8-PD	50,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	10	5	5	10	
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	12	R5		R	
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	16	32	R12		R
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	12	15	22	37	
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	25	35	46	81	
		9,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	22	30	35	65	
		10,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	20	29	32	61	
		12,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	R12				R
		13,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	10	11	21	
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	6	10	14	24	
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	13	11	24	
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	15	15	30	
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	14	20	22	42	
		21,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	20	25	24	49	
		22,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	19	26	29	55	
		24,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	31	46	R11	R	
		25,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	17	33	38	71	
		27,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	17	21	31	52	
		28,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	27	40	R6	R	
		30,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	35	R6		R	
Sc-9-PD	50,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	10	12	12	24	
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	5	5	5	10	
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	18	19	31	50	
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	30	35	32	67	
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	30	37	R10	R	
		9,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	23	30	35	65	
		10,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	35	R9		R	
		12,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	R13			R	
		13,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	12	12	24	
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	10	10	12	22	
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	8	11	11	22	
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	9	11	13	24	
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	11	13	18	31	
		21,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	15	18	23	41	
		22,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	16	21	25	46	
		24,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	19	23	29	52	
		25,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	14	25	26	51	
		27,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	15	24	27	51	
		28,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	18	27	30	57	
		30,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	22	20	30	50	
Sc-10-PD	50,00	1,5	Ghiaia in matrice sabbiosa (GCS) alterata	9	18	19	37	
		3,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	10	11	12	23	
		4,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	8	10	15	25	
		6,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	10	13	18	31	
		7,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS) alterata	20	19	24	43	
		9,0	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	25	22	30	52	
		10,5	Ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa (GCS)	28	30	45	75	
		12,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	25	31	R13	R	
		13,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	10	15	12	27	
		15,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	11	13	12	25	
		16,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	18	25	43	
		18,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	18	22	23	45	
		19,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	12	17	23	40	
		21,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	14	11	21	32	
		22,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	15	20	20	40	
		24,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	16	25	33	58	
		25,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	19	27	35	62	
		27,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	22	28	40	68	
		28,5	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	23	35	R12	R	
		30,0	Sabbia limosa-argillosa con ghiaia (SG)	24	33	45	78	

Tab.3.2 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove SCPT
 (campagna di indagini geognostiche 2010 per il progetto definitivo)

N.	Sigla ID	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt
1	SE03-DH	4,50	4,95	6-8-8	16
2	SE03-DH	9,00	9,45	6-8-11	19
3	SE03-DH	15,00	15,45	5-11-16	27
4	SE03-DH	22,50	22,95	14-23-26	49
5	SE03-DH	27,00	27,45	22-22-26	48
6	SE03-DH	33,00	33,45	23-26-34	60
7	SE04-PZ	3,00	3,45	2-3-4	7
8	SE04-PZ	9,00	9,45	18-29-32	61
9	SE04-PZ	12,00	12,45	26-45-50R+6cm	Rifiuto
10	SE04-PZ	18,00	18,45	13-13-18	31
11	SE04-PZ	21,00	21,45	16-18-19	37
12	SE05-DH	12,00	12,45	33-35-46	81
13	SE05-DH	18,00	18,45	11-23-27	50
14	SE05-DH	25,50	25,95	14-15-18	33
15	SE05-DH	30,00	30,45	23-21-34	55
16	SE05-DH	35,00	35,45	26-33-44	77
17	SE06-DH	3,00	3,45	7-8-7	15
18	SE06-DH	6,00	6,45	R+12 cm	Rifiuto
19	SE06-DH	15,00	15,45	40-R+3cm	Rifiuto
20	SE06-DH	24,00	24,45	32-45-R+1cm	Rifiuto
21	SE06-DH	27,00	27,45	10-12-23	35
22	SE07-PZ	6,00	6,45	R+34cm	Rifiuto
23	SE07-PZ	10,00	10,45	37-R+7cm	Rifiuto
24	SE07-PZ	15,00	15,45	16-21-24	45
25	SE07-PZ	20,00	20,45	18-21-22	43
26	SE08-DH	6,00	6,45	15-18-22	40
27	SE08-DH	9,00	9,45	18-27-50R+7cm	Rifiuto
28	SE08-DH	12,00	12,45	37-50R+10cm	Rifiuto
29	SE08-DH	15,00	15,45	28-39-R+4cm	Rifiuto
30	SE08-DH	18,00	18,45	20-23-28	51
31	SE08-DH	21,00	21,45	21-27-30	57
32	SE08-DH	24,00	24,45	23-26-28	54
33	SE08-DH	27,00	27,45	28-30-32	62
34	SE08-DH	30,00	30,45	30-30-45	75
35	SE08-DH	33,00	33,45	30-34-R+6cm	Rifiuto

Tab.3.3 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove SPT
 (campagna di indagini geognostiche 2018 per il progetto esecutivo)

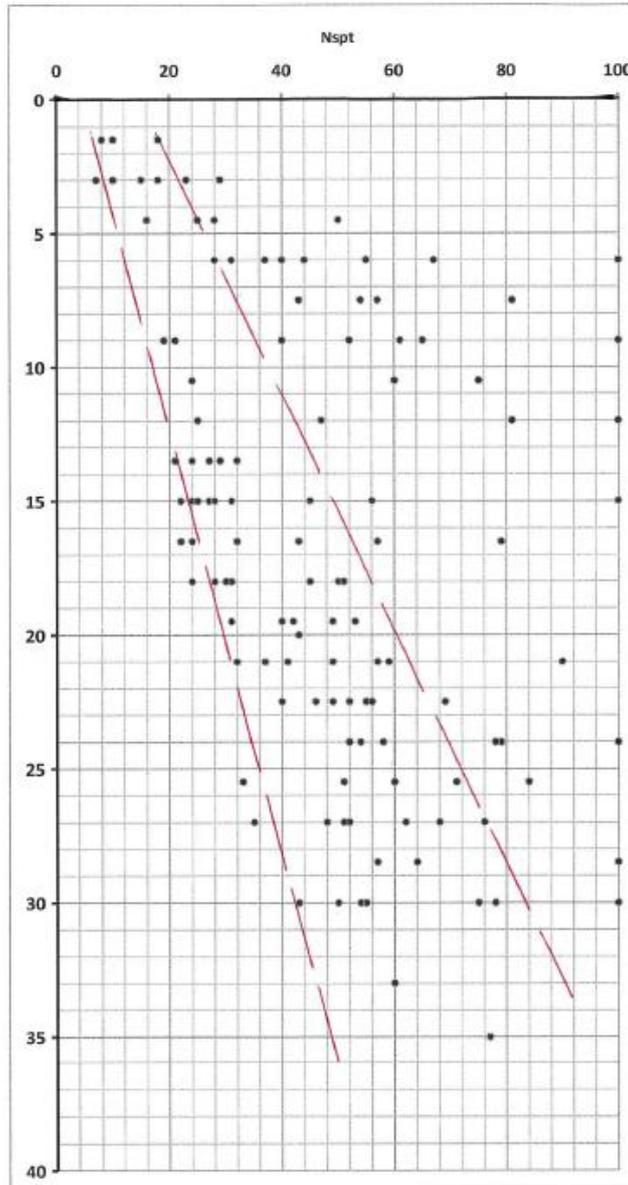


Fig.2 – Prove SCPT: relazione Nspt/z

Nella figura 2 allegata è riportato l'andamento della resistenza penetrometrica (Nspt) con la profondità. Si osserva un generale incremento della resistenza con la profondità, anche se non mancano valori elevati anche per strati superficiali, legati evidentemente al grado di addensamento locale dei litotipi ghiaioso-sabbiosi.

6.2 PROVE PRESSIOMETRICHE

In occasione della redazione del progetto definitivo, nei fori di sondaggio Sc-05-PD, Sc-08-PD, Sc-09-PD e Sc-10-PD sono state, inoltre, realizzate alcune prove pressiometriche tipo Menard. Come è noto, la prova con pressiometro tipo Menard si esegue misurando in un foro di sondaggio la deformazione del terreno quando questi viene sollecitato mediante l'espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso. La

prova consiste nell'incrementare gradualmente la pressione con gradini prefissati, possibilmente sino alla rottura del terreno, misurando il volume d'acqua assorbito dalla cella di misura e, di conseguenza, la deformazione.

I volumi d'acqua iniettati nella cella di misura sono diagrammati in funzione della pressione applicata, ottenendo così una curva dalla quale si ricavano:

- Pressione di ricompressione (P0);
- Pressione di fluage (Pf);
- Pressione limite (PI);

A partire dalla curva sperimentale corretta si possono determinare, oltre ai parametri sopraindicati, alcuni parametri geotecnici caratteristici del terreno:

- Modulo di taglio (G) tramite la relazione: $G = [(Vi + (Vf + V0)/2)] * [(Pf - P0)/(Vf - V0)]$

dove: - Vi = volume iniziale della sonda

- Vf = volume corrispondente alla pressione di fluage (Pf)

- V0 = volume corrispondente alla pressione di ricompressione (P0)

- Modulo pressiometrico (Em), tramite la relazione: $Em = 2(1 + \nu) * G$

dove ν rappresenta il coefficiente di Poisson, assunto pari a 0,3

Nella tabella seguente si riportano sinteticamente i risultati delle prove pressiometriche. I certificati ed i risultati di dette prove sono riportati negli elaborati sulle indagini geognostiche, allegati al progetto, cui si rimanda.

Sondaggio	Profondità prova (m)	litotipo	Press.limite PL (MPa)	Press.fluage PF (MPa)	Modulo pressiom. Em (MPa)
Sc-05-PD	10.1	Sabbia fine limosa (SG)	2.5	1.49	26.2
Sc-08-PD	19	Sabbia fine limosa (SG)	2.5	1.75	35.4
Sc-09-PD	22.1	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	2.493	1.935	42.8
Sc-10-PD	19	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	2.322	1.766	36.7

Tab.4 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove pressiometriche
 (campagna di indagini geognostiche 2010 per il progetto definitivo)

6.3 PROVE DI PERMEABILITÀ

In sede di progetto definitivo nei litotipi appartenenti all'Unità delle sabbie e ghiaie sono state eseguite quattro prove di permeabilità all'interno di due fori di sondaggio (cfr. Relazione sulle indagini geognostiche - P00.GE00.GEO.RE.02). Un'altra prova di permeabilità in foro è stata eseguita nella campagna di indagini 2018 per il progetto esecutivo.

Alcuni dati relativi alla permeabilità dei terreni sono presenti anche nelle schede di alcuni pozzi ad uso idropotabile presenti in zona, in particolare nel territorio comunale di Gallarate. Nella tabella seguente sono riassunti i valori di permeabilità ottenuti dalle prove in sito, con una breve descrizione della litofacies testata alla quale la permeabilità misurata è attribuibile.

In tabella 5 sono riportati, anche i valori ricavati dalle prove di permeabilità realizzate all'interno dei pozzi idropotabili presenti nel Comune di Gallarate all'interno del settore d'interesse.

Il complesso idrogeologico delle sabbie e ghiaie (ghiaie e sabbie con ridotto contenuto in limo ed argilla) costituisce l'acquifero più permeabile; le prove di tipo Lefranc realizzate in questo acquifero (cfr.fig.3) hanno fornito valori puntuali di permeabilità abbastanza variabili in funzione del contenuto in materiale fine e compresi tra circa $4E-07$ m/s (sabbia limosa con ghiaia) e $1E-04$ m/s (ghiaia con sabbia e sabbia pulita con ghiaia). Il valore di permeabilità medio è dell'ordine di $2,5E-05$ m/s. L'acquifero presenta pertanto un grado di permeabilità medio, localmente basso in corrispondenza dei livelli con maggiore contenuto in sedimenti fini.

sondaggio	Tipo prova	Tasca di Prova (m)	litotipo	Permeabilità (m/s)	Soggiacenza Falda (m)
Sc-07-PD	Carico var.	12.15-12.50	Ghiaia con sabbia (GCS)	1.86E-06	N.D.
	Carico var.	25.65-26.15	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	1.01E-06	
Sc-09-PD	Carico var.	12.15-12.65	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	1.06E-05	25.20
	Carico var.	27.15-27.65	Sabbia limosa con ghiaia (SG)	4.36E-07	
SE 04 PE	Carico var.	23.40-24.00	Ghiaia e sabbia limosa (GCS)	6.68E-06	

Tab.5.1 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc
(campagna di indagini geognostiche 2010 e 2018)

sondaggio	Profondità (m)	tipo prova	Profondità prova (m)	litotipo	Permeabilità K (m/s)	Soggiacenza falda
SC-11-PD	20	car.cost.	6,20	Ghiaia con sabbia (GCS)	1.10E-04	assente
Pozzo 10	68			Ghiaia con sabbia (GCS)	3.14E-04	25
Pozzo 11	131			Ghiaia con sabbia (GCS)	4.60E-04	26
Pozzo 16	118			Ghiaia con sabbia (GCS)	1.30E-04	21.50

Tab.5.2 Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc
(campagna di indagini geognostiche 2010)

Infine, i valori di permeabilità k ricavati dalle schede dei pozzi ad uso idropotabile del comune di Gallarate, localizzati negli strati ghiaiosi-sabbiosi, sono dell'ordine di $1E-04$ m/s.

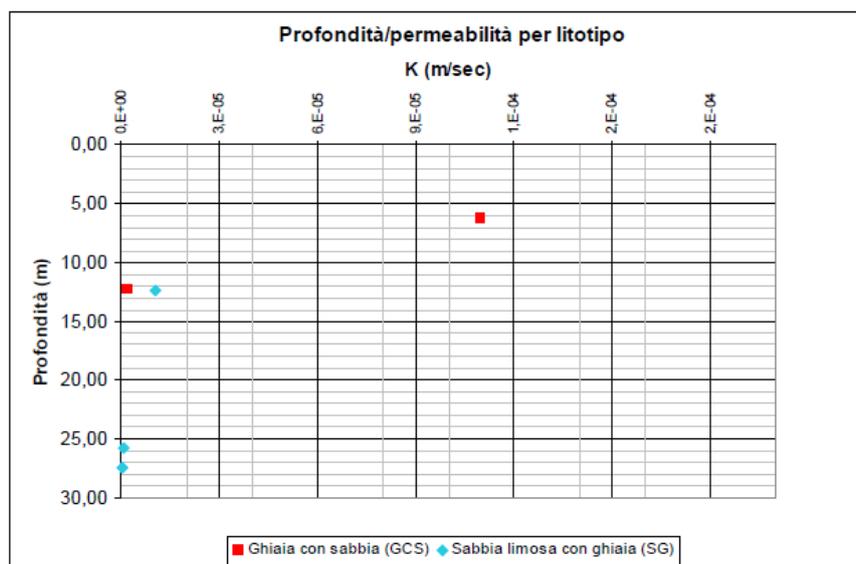


Fig.3 - Valori di permeabilità k (m/s),
ricavati dalle prove Lefranc, distinte in funzione del litotipo analizzato.

6.4 INDAGINI GEOFISICHE

6.4.1 Prove Down-hole

I sondaggi Sc-07-PD e Sc-09-PD, eseguiti per il progetto definitivo, ed i sondaggi SE03, SE05, SE06 e SE08, eseguiti per il progetto esecutivo, sono stati predisposti per la realizzazione di prove sismiche in foro tipo Down-Hole per la definizione della velocità delle onde sismiche ($V_{s,30}$) e la classificazione del terreno da un punto di vista sismico. La normativa (NTC 2018) richiede la definizione del valore della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione ($V_{s,30eq}$). La prova consente la misura diretta delle velocità di propagazione V_p delle onde di compressione (onde P) e V_s delle onde di taglio (onde S) e la determinazione dei parametri elastici dei terreni in condizioni dinamiche. Nel caso specifico le prove sismiche sono state effettuate a intervalli di 1 metro per tutta la lunghezza dei fori attrezzati con tubi in pvc. Per una descrizione approfondita della metodologia d'indagine e della strumentazione utilizzata si rimanda all'elaborato sulle Indagini Geognostiche che contiene anche i tabulati ed i grafici dei risultati ottenuti.

Nelle figure seguenti sono riportati i grafici delle velocità delle onde di taglio e longitudinali in funzione della profondità per ciascuna delle prove realizzate.

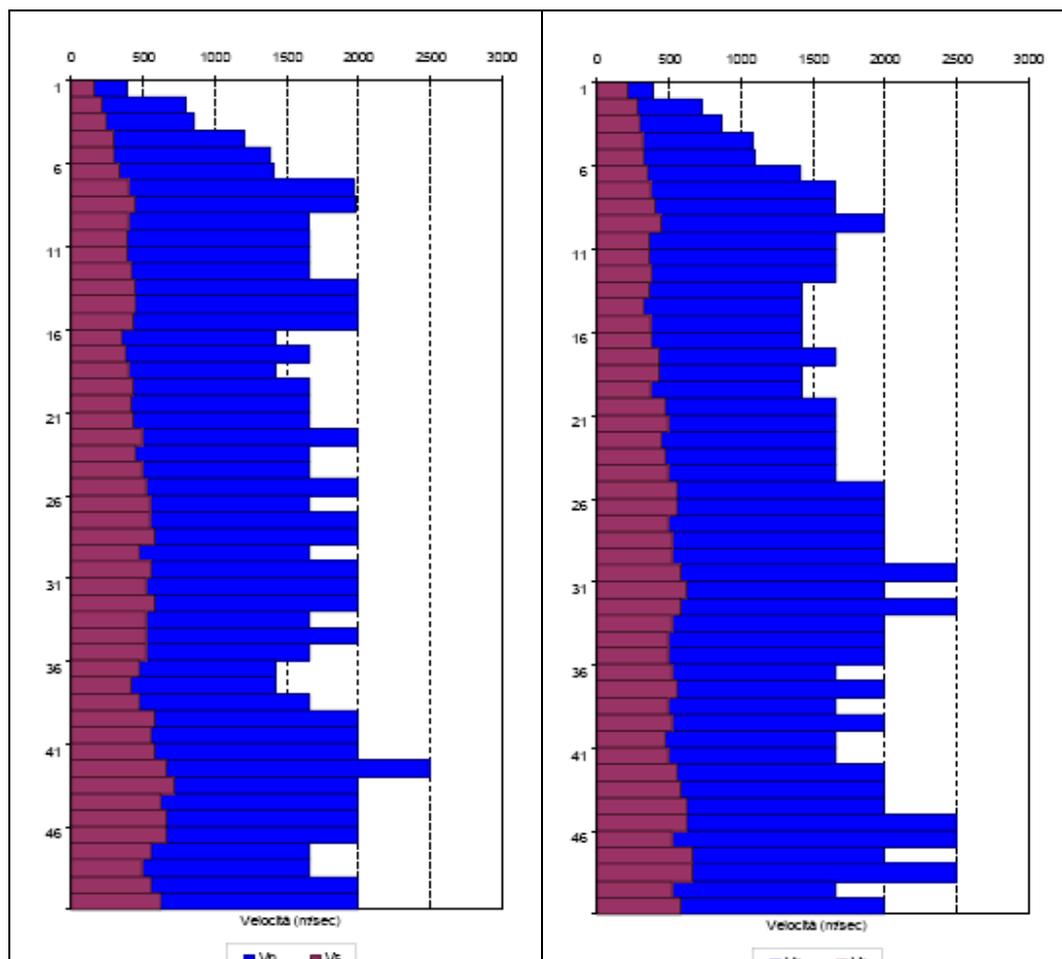


Fig.3.1 - Prove Down-Hole: grafici delle velocità delle onde di taglio e longitudinali in funzione della profondità (Sondaggio SC-7 a sinistra e SC-9 a destra, indagini 2010)

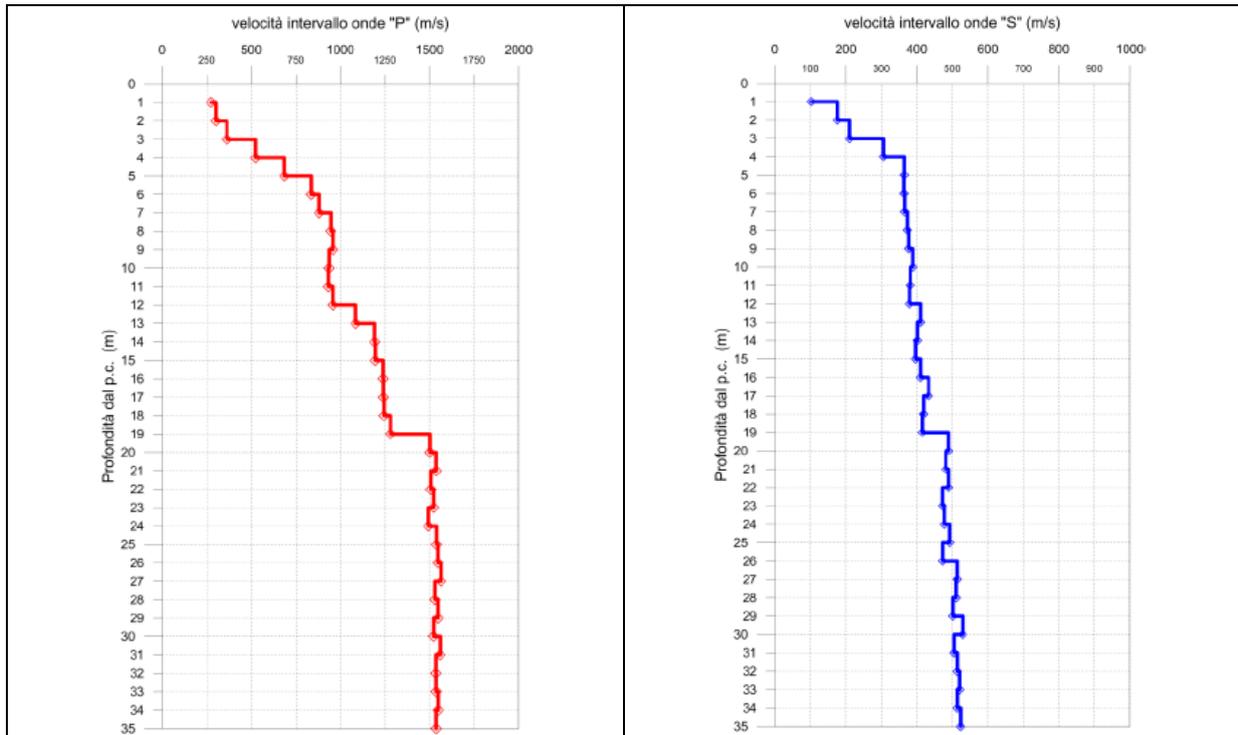


Fig.3.2 - Prove Down-Hole: grafici delle velocità delle onde P e S in funzione della profondità (Sondaggio SE-03) campagna di indagini geonostiche 2018

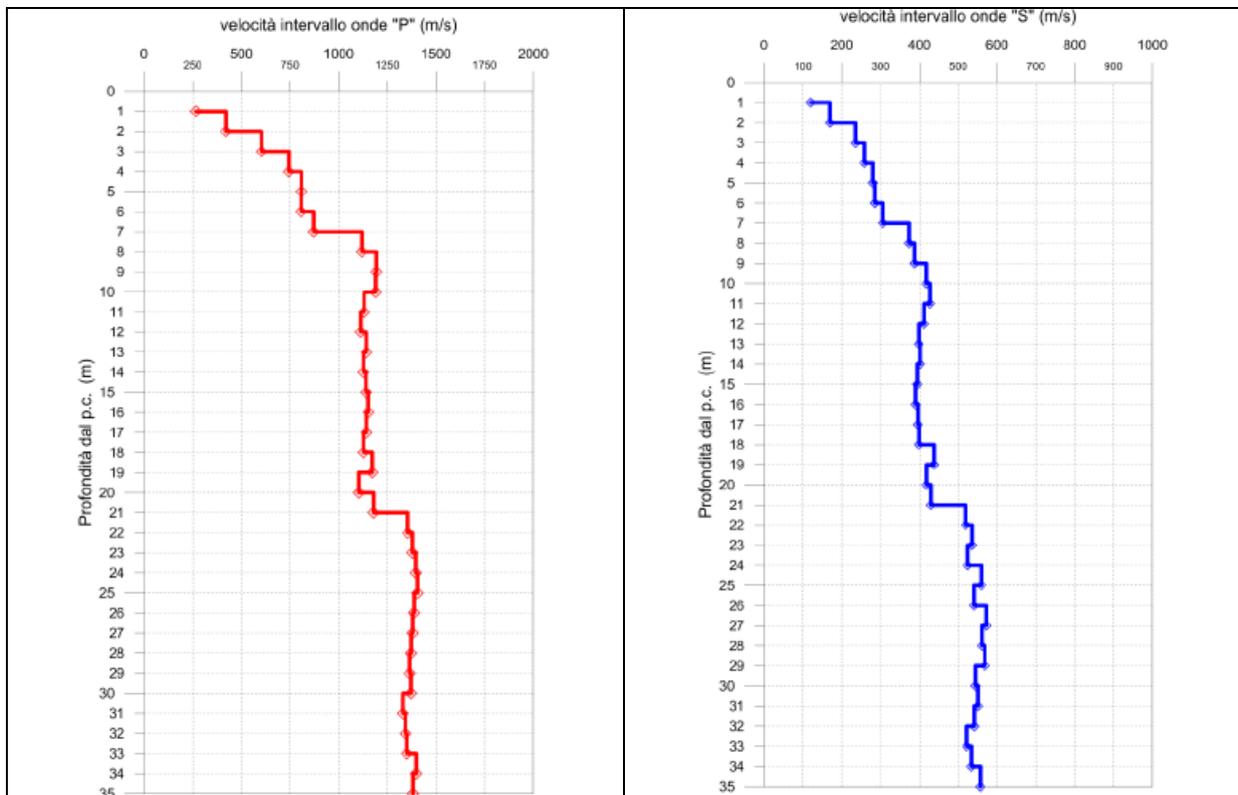


Fig.3.3 - Prove Down-Hole: grafici delle velocità delle onde P e S in funzione della profondità (Sondaggio SE-05) campagna di indagini geonostiche 2018

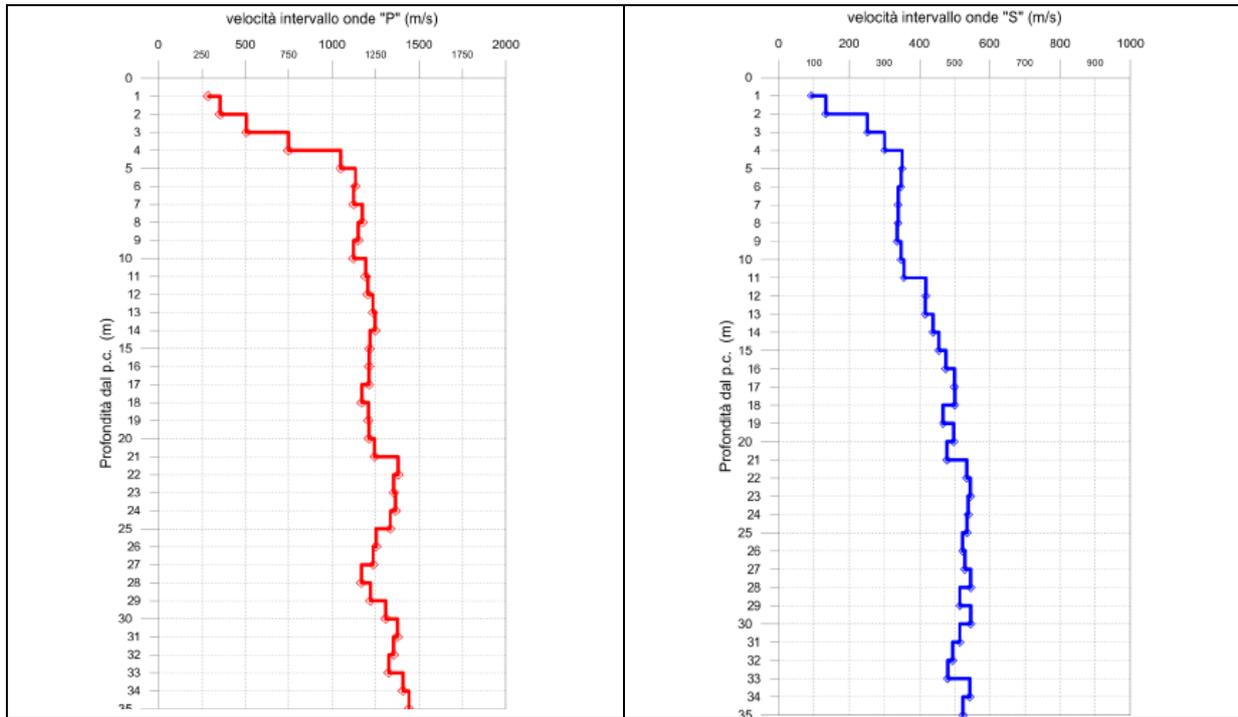


Fig.3.4 - Prove Down-Hole: grafici delle velocità delle onde P e S in funzione della profondità
(Sondaggio SE-06 campagna di indagini geognostiche 2018)

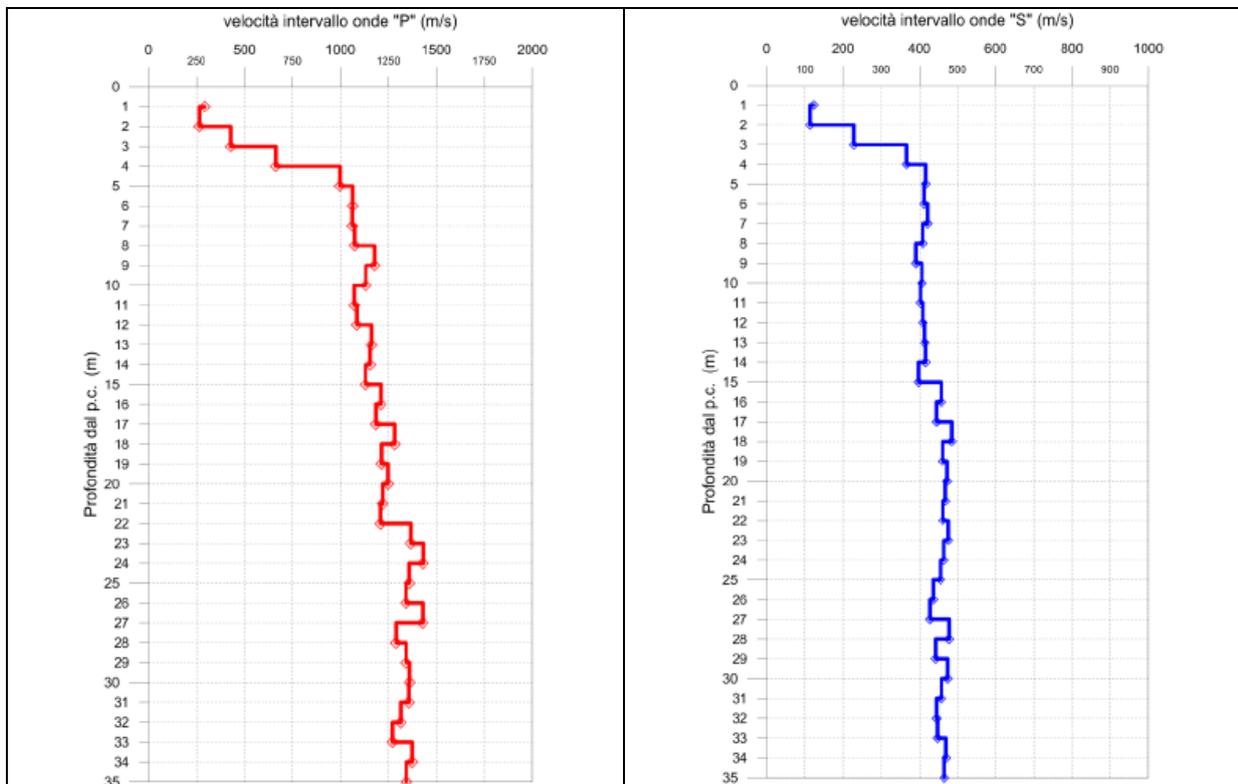


Fig.3.5 - Prove Down-Hole: grafici delle velocità delle onde P e S in funzione della profondità
(Sondaggio SE-08 campagna di indagini geognostiche 2018)

6.4.2 Prospezioni sismiche da superficie (MASW)

A completamento delle indagini geofisiche sono stati anche eseguite due prospezioni sismiche da superficie con il metodo MASW. Rimandando al rapporto della ditta esecutrice per i dettagli, nella figura 3.6 seguente sono riportati gli andamenti delle velocità V_p e V_s in relazione alla profondità indagata.

Dall'elaborazione dei risultati si evince poi che il valore della velocità sismica equivalente si attesta intorno a $V_{s30,eq} = 350$ m/s.

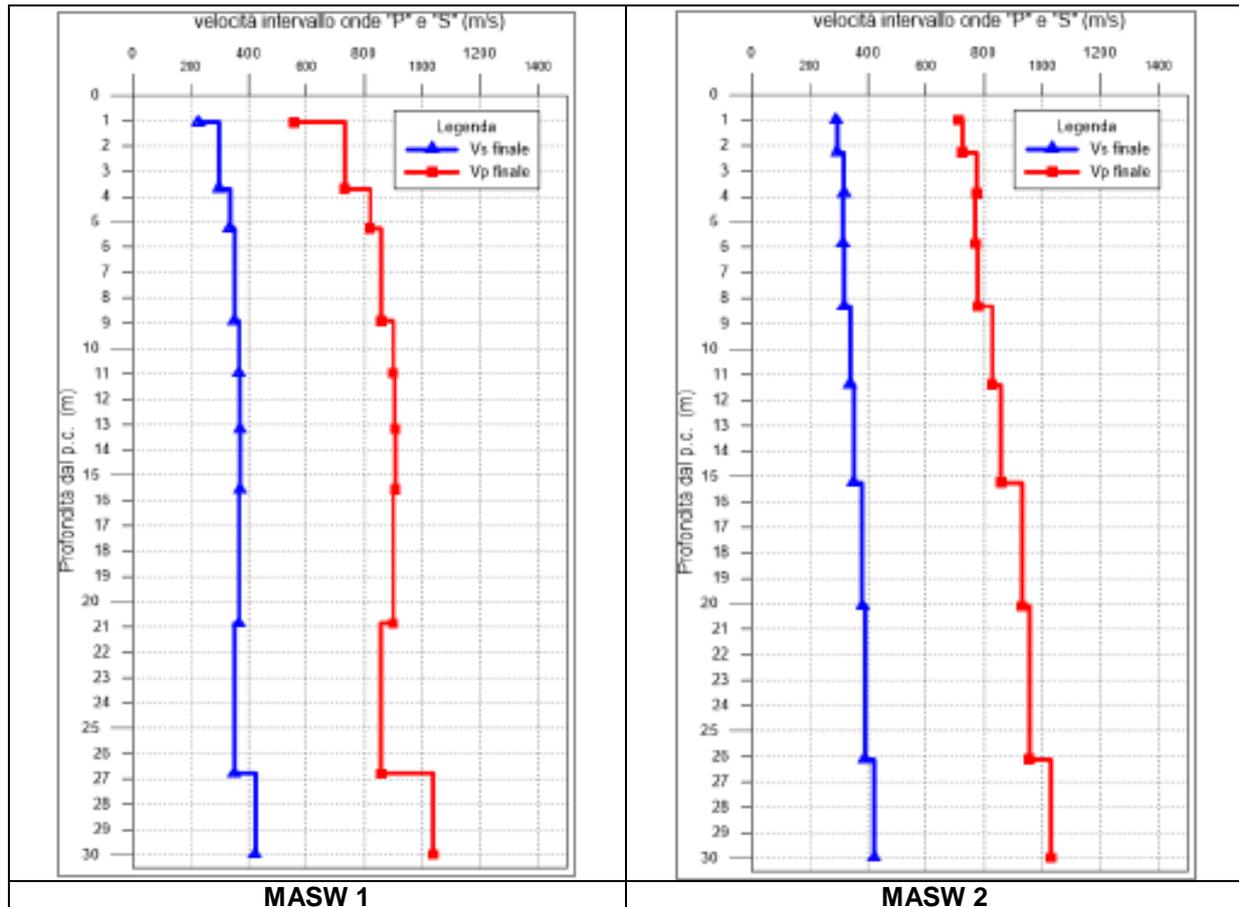


Fig.3.6 – Risultati delle prospezioni sismiche da superficie

6.5 PIEZOMETRI

I risultati delle campagne di monitoraggio piezometrico ad oggi disponibili, espressi come soggiacenza in metri del livello piezometrico rispetto al piano campagna, sono sintetizzati nella tabella seguente.

I sondaggi Sc-05, Sc-06, Sc-08 e Sc-10 del Progetto Definitivo, SE04 ed SE07 del Progetto esecutivo sono stati attrezzati sino a fondo foro con piezometri a tubo aperto in PVC del diametro di 2". Le schede delle stratigrafie dei sondaggi riportano lo schema di installazione del piezometro per ciascuno dei sondaggi sopraelencati (cfr. Elaborati sulle indagini geognostiche).

sondaggio	profondità	Opera d'arte	Tipo piezometro	data	Soggiacenza falda
SE 04 PE	25 m	Viadotto sovrappasso FFSS	Tubo aperto 2"	30/11/2018	21.07 m
Sc-05-PD	25 m	Galleria artificiale	Tubo aperto 2"	21/09/2010 12/10 21/11 16/12/2010	21.70 21.76 21.72 21.79
Sc-06-PD	40 m	Viadotto bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	31/08/2010 01/09 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	22.00 22.90 22.88 23.02 22.96 22.98
SE 07 PE	25 m	(Cascina Marcora)	Tubo aperto 2"	15/11/2018	assente
Sc-08-PD	50 m	Bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	10/09/2010 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	26.56 26.72 26.86 26.81 26.85
Sc-10-PD	50 m	Bretella Gallarate	Tubo aperto 2"	15/09/2010 21/09 12/10 24/11 16/12/2010	26.50 28.16 28.22 28.20 28.27

Tab.7 - Tabella riassuntiva risultati campagne di monitoraggio piezometrico (2010 e 2018)

6.6 POZZETTI ESPLORATIVI E PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Sia in occasione delle indagini geognostiche per il Progetto Definitivo che in quelle per il Progetto Esecutivo sono state realizzati alcuni pozzetti esplorativi (per la precisione 2 in PD e 8 in PE) spinti sino alla profondità massima di circa 3 m, il che ha permesso di ricostruire l'assetto stratigrafico dei primi metri e di realizzare al loro interno alcune prove di carico su piastra con l'obiettivo di ottenere informazioni sulla deformabilità dei terreni di appoggio.

In totale sono state eseguite 9 prove di carico con piastra da 30 cm di diametro a profondità comprese fra 0.30 e 1.00 m dal piano campagna attuale, adottando la Norma Svizzera (SNV 670317a). I risultati delle prove sono restituiti sotto forma di un grafico pressioni applicate–cedimenti, elaborato utilizzando le letture al manometro ed i cedimenti corrispondenti.

Pozzetto	ubicazione	Profondità scavo	Profondità prova	Litotipo	Md1 (MPa)	Md2 (MPa)	Md1/Md2	W (%)
Pz-03-PD	Spalla sud viadotto bretella Gallarate	3.00	0.75	Limo sabbioso con rari ciottoli	8.09			
Pz-05-PD	Svincolo SS336 Nord	3.00	0.50	Sabbia sciolta con ghiaia	17.62			
PZ E02		1.00	0.30	GS	3.96	27.96	0,14	26
PZ E03		2.00	0.30	GS	8.33	45.69	0,18	23
PZ E05		2.00	0.30	GS	16.33	49.18	0,33	13
PZ E06		2.00	0.30	GS	15.00	83.33	0,18	21
PZ E07		1.00	0.30	S L	10.99	70.31	0,16	22
PZ E08		2.00	0.30	GS	6.32	52.33	0,12	25
PZ E09		2.00	0.30	GS	7.25	39.65	0,18	22

Tab.8 - Tabella riassuntiva delle prove di carico su piastra
 (campagna indagini 2010 e 2018)

Per maggiori dettagli si rimanda al rapporto tecnico della ditta esecutrice, allegato fra gli elaborati sulle indagini geognostiche del progetto.

7. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

7.1 PROVE GEOTECNICHE SVOLTE

All'interno di tutti i sondaggi geognostici e dei pozzetti esplorativi sono stati prelevati una serie di campioni rimaneggiati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio: a causa delle caratteristiche dei terreni incontrati (granulometria prevalentemente grossolana e coesione ridotta o assente) non è stato, infatti, possibile prelevare campioni indisturbati.

Nelle Tabelle 9.1-9.4 è riportata una sintesi dei risultati di tutte le prove di laboratorio realizzate sui campioni di terreno prelevati in fase di progettazione definitiva ed esecutiva. Le prove sono consistite principalmente nella classificazione e nella determinazione delle proprietà fisiche dei terreni. I certificati ed i risultati delle prove di laboratorio sono contenuti negli elaborati sulle indagini geognostiche allegate al progetto.

In particolare sulla base della natura e delle caratteristiche dei materiali sono state eseguite le seguenti tipologie di prove:

- Apertura e descrizione geotecnica
- Analisi granulometrica
- Determinazione del contenuto in acqua
- Determinazione del peso di volume
- Determinazione dei limiti di plasticità e di liquidità
- Prova di consolidazione edometrica

7.2 CLASSIFICAZIONE GRANULOMETRICA LITOTIPI

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte in dettaglio nella Relazione Geologica e riportate nel precedente Capitolo 4, in base ai risultati delle prove in foro e all'analisi dei risultati delle prove di laboratorio, con particolare attenzione alle curve granulometriche (Figure 4.1-4.5), in sede di progetto definitivo è stato possibile riconoscere nell'area di studio cinque unità geotecniche fondamentali:

1. Depositi di origine antropica (R).
2. Ghiaie con ciottoli in matrice sabbiosa o sabbioso-limosa (Ug1); all'interno di tale unità è stata distinta la sub-unità delle Ghiaie alterate con sabbia (Ug1a) che corrisponde all'orizzonte di alterazione superficiale dell'Ug1.
3. Sabbia e sabbia limosa con ghiaia (Ug2).
4. Limi argillosi e argille-limose con rara ghiaia (Ug3).
5. Ghiaie in matrice limoso-argillosa (Ug4).

In questa sede viene mantenuta la suddivisione operata in sede di progetto definitivo, limitandosi ad integrare i dati geotecnici già acquisiti con i risultati delle nuove indagini svolte (campagna 2018 e 2019).

La prima unità R non è interessata dalle opere stradali per cui non viene illustrata nel seguito. Le unità geotecniche Ug3 ed Ug4, dal momento che sono presenti a partire da profondità superiori ai 45 m, non saranno interessate direttamente dalle opere in progetto, neppure dove è prevista la realizzazione di fondazioni profonde su pali. Gli scavi interesseranno principalmente i litotipi appartenenti alle unità Ug1a, Ug1 e Ug2 (cfr. Profilo geotecnico in scala 1:2000/200).

Codice sondaggio	Codice campione	Profondità campione (m)		Litotipo	Unità litografica	Analisi Granulometrica					Contenuto di acqua %	Peso di volume Kn/m ³	Limiti di Atterberg			Indice di consistenza Ic	
		Abbrev.	da			a	Clottili	Ghiala	Sabbia	Limo			Argilla	LL	LP		IP
Sc-5-PD	A	3	3,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	GCS		61	31	8		3,6						
	B	6,5	7	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS	1	74	18	7		5						
	C	10,5	11	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		29	43	21	7	20,3						
	D	16,5	17	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	SG		35	39	19	7	15,2						
	E	22,5	23	Sabbia con ghiaia limosa debolmente argillosa	SG		24	51	21	4	18,7						
Sc-6-PD	A	2	2,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	GCS		53	36	11		6,2						
	B	5	5,5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS		63	29	8		7,6						
	C	10,5	11	Ghiaia e sabbia limosa debolmente argillosa	GCS	1	44	37	15	3	4,1						
	D	13,5	14	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		12	67	18	3	17,2						
	E	16,3	16,8	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	SG	1	33	42	20	4	12,7		21	17	4	2,08	
	F	21,5	22	Sabbia limosa debolmente argillosa	SG		3	65	24	8	15,9						
	G	27,5	28	Sabbia e ghiaia limosa	SG		34	48	18		15,5						
	H	33,5	34	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		13	65	17	5	16,3						
Sc-7-PD	A	2	2,5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS	2	73	19	6		3,9						
	B	6	6,5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS	1	63	25	11		4,5						
	C	11	11,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	GCS		57	33	10		10,7						
	D	15,8	16,3	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	SG		33	47	16	4	14,3						
	E	30	30,5	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	SG		40	41	16	3	17,4						
Sc-8-PD	A	2,8	3,3	Ghiaia con sabbia limosa	GCS		55	30	15		3						
	B	7,5	8	Ghiaia con sabbia limosa	GCS	2	53	29	16		8,1						
	C	15,5	16	Sabbia e ghiaia limosa debolmente argillosa	SG		30	42	21	7	13,4		25	15	10	1,16	
	D	26,5	27	Sabbia limosa debolmente ghiaiosa	SG		9	68	20	3	21,7						
	E	34,5	34,75	Sabbia e limo argilloso	SG			44	41	15	27		36	20	16	0,56	
	F	39,5	40	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		24	51	21	4	9,3						
	G	44,5	46	Sabbia limosa debolmente ghiaioso-argillosa	SG		7	68	20	5	16,7						
Sc-9-PD	A	2	2,5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS		59	27	12	2	9,6						
	B	6	6,5	Ghiaia sabbiosa debolmente limoso-ciottolosa	GCS	4	63	22	11		5,4						
	C	9,5	10	Ghiaia	GCS		52	33	13	2	4,8						
	D	14	14,5	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		20	55	19	6	15,9						
	E	23	23,5	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG	1	23	46	24	6	20,6		32	28	4	2,85	
	F	33,5	34	Sabbia limosa e ghiaia	SG		41	41	15	3	17		29	24	5	2,40	
	G	39,5	40	Sabbia limoso-ghiaiosa debolmente argillosa	SG		21	60	16	3	14,7						
Sc-10-PD	A	4,5	5	Ghiaia sabbiosa debolmente limosa	GCS		66	25	9		3,1						
	B	9,2	9,7	Ghiaia con sabbia limosa	GCS		59	30	11		4,2						
	C	12,5	13	Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa	GCS		48	30	16	6	6,5						
	D	16,5	17	Sabbia limosa con ghiaia	SG		30	44	19	7	23,3						
	E	35,5	36	Sabbia limosa con ghiaia	SG		32	43	18	5	19,8						
	F	42,2	42,7	Sabbia limosa con ghiaia	SG		30	53	16	2	11,7						
Pz-3-PD	A	2	2,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	GCS		57	34	9		10,7						
Pz-5-PD	A	2	2,5	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	GCS		59	35	6		5,3						

Tabella 9.1 - Tabella riassuntiva dei risultati delle prove di laboratorio
 (campagna indagini 2010 per il Progetto Definitivo)

Tabella 9.2 – Valori dei principali parametri geotecnici forniti dalle prove geotecniche di laboratorio su campioni rimaneggiati prelevati nel corso della esecuzione dei sondaggi geognostici (Indagini 2018 - Progetto esecutivo)

SOND.	Cam p.	da/a	γ_t (kN/m3)	γ_d (kN/m3)	G	w (%)	e	n (%)	s (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	Class.	
SE03-DH	CR1	7.0-7.5				4.51				75	18	5	2	ND	ND					
SE03-DH	CR2	14-14.5				6.38				34	38.5	18.5	9	ND	ND					
SE03-DH	CR3	23.5-24				18.8				76	18	7	2	ND	ND					
SE03-DH	CR4	34-34.5				15.4				19	58	17	6	ND	ND					
SE04-Pz	CR1	2-4				2.84				60	26	14	0	ND	ND					
SE04-Pz	CR2	12-13				6.29				64	31	3	2	ND	ND					
SE04-Pz	CR3	19-20				10.95				37.5	49	12	1.5	ND	ND					
SE04-Pz	CR4	24-25				11.7				22	54	20.5	3.5	ND	ND					
SE05-DH	CR1	9-10				11.1				50	26	15.5	8.5	ND	ND					
SE05-DH	CR2	17-18				12.1				27	43	21	9	ND	ND					
SE05-DH	CR3	23-24				17.1				20	56	17	7	ND	ND					
SE05-DH	CR4	31-32				14.3				43	39.5	12.5	5	ND	ND					
SE06-Pz	CR1	8-9			2.74	8.64				48	30	13.5	8.5	ND	ND					
SE06-Pz	CR2	22-23			2.56	15.8				29.5	52.5	14	4	ND	ND					
SE06-Pz	CR3	33-34	20.53	17.84	2.73	15.1	34.7	0.53	77.6	32	50.5	11.5	6	ND	ND					
SE07-Pz	CR1	5-6			2.56	18.2				14	44.5	25.5	16	25	17	8				
SE07-Pz	CR2	13-14			2.54	11.2				47.5	35.5	11.5	5.5	ND	ND					
SE07-Pz	CR3	24.5-25			2.59	12.9				20	62	14.5	3.5	ND	ND					
SE08-DH	CR1	4-4.5			2.64	12.2				56.5	32	8.5	3	ND	ND					
SE08-DH	CR2	7-7.5			2.70	4.14				68	25	5	2	ND	ND					
SE08-DH	CR3	14.5-15			2.49	8.88				39	41	15.5	4.5	ND	ND					
SE08-DH	CR4	22-22.5			2.68	23.1				13	56	21	10	ND	ND					
SE08-DH	CR5	32-32.5			2.71	15.6				34	52.5	11.5	2	ND	ND					
Legenda:	Ghiaie sabbiose debolmente limose					Sabbie ghiaioso-limose														

SOND.	Camp.	da/a	γ_t (kN/m3)	γ_d (kN/m3)	G	w (%)	e	n (%)	s (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC	IL	ϕ'	C' (kPa)	Class.
SE07-Pz	CI1	16.5-17	17.55	12.9	2.68	36.1	52	1.08	89.6	0	23.5	63.5	13	43	33	10	0.69	0.31	30°	20	

SOND.	Camp.	da/a	Cg (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Class.
PzE02	CR1	0.30	0	43	38	17.5	1.5	ND	ND		A1-b
PzE02	CR2	1	2	85	11	2	0	ND	ND		A1-a
PzE03	CR1	0.30	6	43	34	15.5	1.5	ND	ND		A1-b
PzE03	CR2	1	0	81	16	3	0	ND	ND		A1-a
PzE04	CR1	1	6	71	20	3	0	ND	ND		A1-a
PzE05	CR1	0.30	0	60	38.5	1.5	0	ND	ND		A1-a
PzE05	CR2	1	0	25	61	11.5	2.5	ND	ND		A2-4
PzE06	CR1	0.30	0	35	36	26.5	2.5	ND	ND		A2-4
PzE06	CR2	1	0	78	18	4	0	ND	ND		A1-a
PzE07	CR1	0.30	0	62	27	11	0	ND	ND		A1-a
PzE08	CR1	0.30	7	59	18	14.5	1.5	ND	ND		A1-b
PzE08	CR2	1	6	64	19	11	0	ND	ND		A1-a
PzE09	CR1	0.3	0	50	30	17	3	ND	ND		A1-b
PzE09	CR2	1	0	11	38	43.5	7.5	ND	ND		A4

Tabella 9.3 – Valori dei principali parametri geotecnici forniti dalle prove geotecniche di laboratorio su campioni rimaneggiati prelevati all’interno di pozzetti a scavo (Indagini 2018)

SOND.	Camp.	da/a	Cg (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Class.
SEi01	CR1	7		54	30	12	4	ND	ND		A1-b
SEi01	CR2	21,5		19	52	22	7	ND	ND		A4
SEi02	CR1	2		73	22	4	1	ND	ND		A1-A
SEi02	CR2	14		59	31	6,5	3,5	ND	ND		A1-a
SEi02	CR3	26		12	75	9	4	ND	ND		A4
SEi09	CR1	9		43	41	11,5	4,5	ND	ND		A2-4
SEi09	CR2	20		20	54,5	18,5	7	ND	ND		A4

Tabella 9.4 – Valori dei principali parametri geotecnici forniti dalle prove geotecniche di laboratorio su campioni rimaneggiati prelevati all’interno dei sondaggi (Indagini 2019)

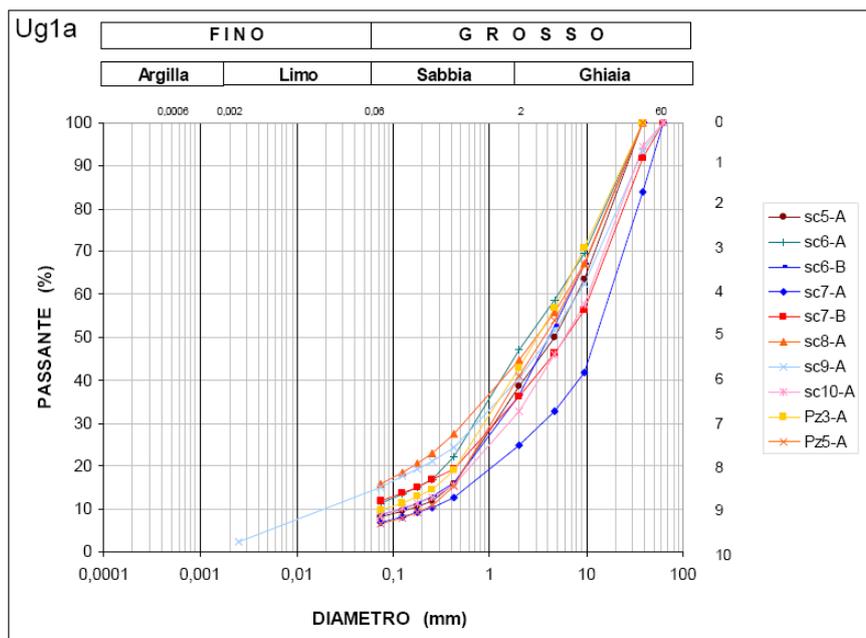


Fig.4.1 - Curve granulometriche dei campioni di Ghiaie alterate con sabbia (Ug1a) (campagna indagini 2010)

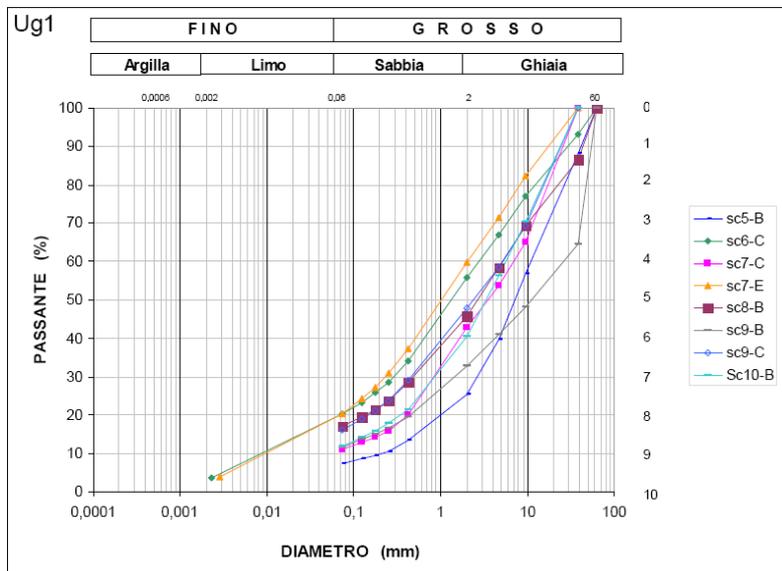


Fig.4.2 - Curve granulometriche dei campioni di Ghiaie in matrice sabbiosa (Ug1) (campagna indagini 2010)

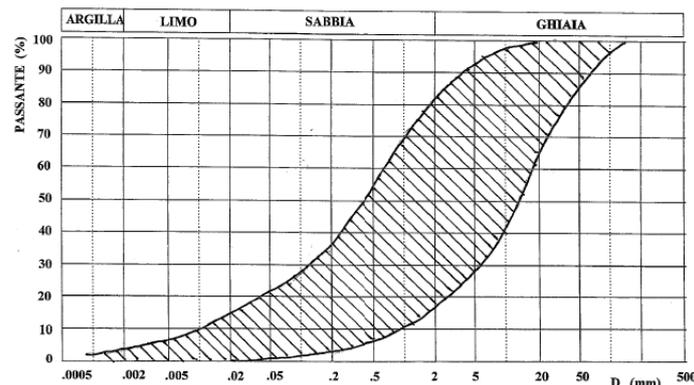


Figura 4.3 - Curve granulometriche dei campioni di Ghiaie sabbiose (campagna indagini 2018 e 2019)

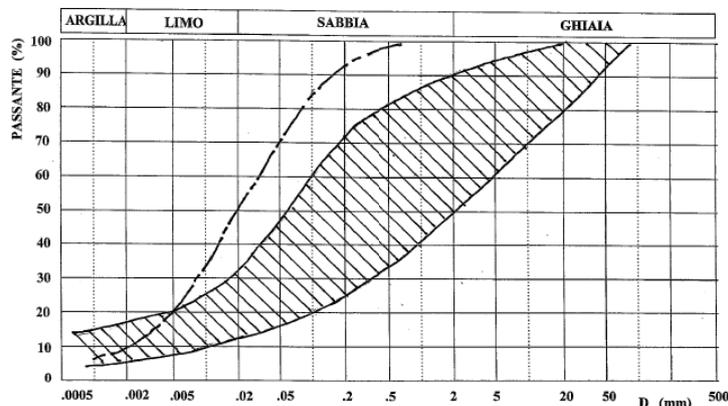


Figura 4.4 - Curve granulometriche dei campioni di Ghiaie e sabbie (campagna indagini 2018 e 2019)

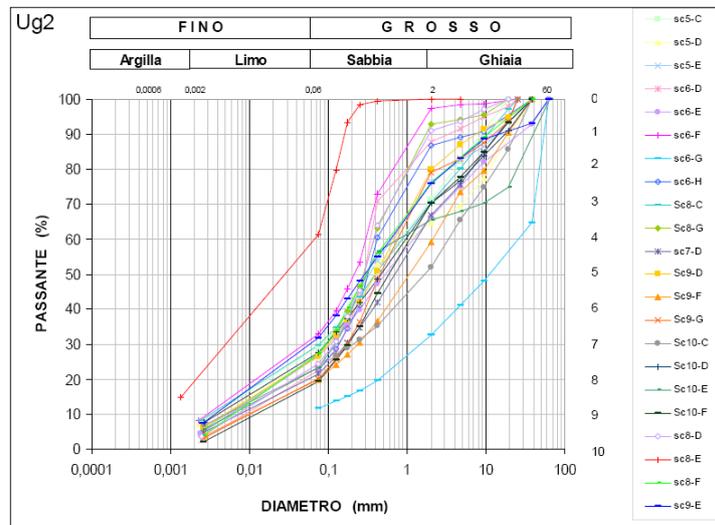


Fig.4.5 - Curve granulometriche campioni di Sabbia e Sabbia limosa con ghiaia (Ug2)
(campagna indagini 2010)

Va sottolineato che tale classificazione geotecnica rappresenta comunque una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni reciproche delle diverse facies (Ad esempio all'interno dell'unità geotecnica rappresentata dalle ghiaie è possibile la presenza di orizzonti sabbiosi e/o limoso-sabbiosi).

La classificazione proposta è basata principalmente sulla distinzione granulometrica dei terreni incontrati. Nell'ambito dei terreni analizzati, infatti, la granulometria rappresenta il fattore discriminante principale che influenza le caratteristiche e i parametri geotecnici necessari ai fini della progettazione. La presenza di limo piuttosto che di argilla all'interno di una sabbia, infatti, può determinare una netta variazione delle caratteristiche geotecniche (quali ad esempio coesione, permeabilità etc.) e una diversa risposta del terreno allo scavo (maggiore o minore plasticità). Le unità geotecniche vanno pertanto intese come unità le cui caratteristiche geotecniche sono definite dalla facies prevalente.

Dalle curve granulometriche emerge in particolare una più netta distinzione tra le unità Ug1/Ug1a rispetto all'Ug2; tale distinzione è legata principalmente ad un maggiore contenuto in sabbia e materiale fine (limo e argilla) dei litotipi appartenenti all'unità Ug2 rispetto alle ghiaie delle unità Ug1 e Ug1a. Queste ultime due unità infatti, sebbene esistano delle differenze ridotte in termini di contenuti medi di ciascuna classe granulometrica, sono caratterizzate da una prevalenza netta della frazione grossolana rispetto alla frazione fine; pertanto i rispettivi fusi granulometrici tendono a sovrapporsi maggiormente.

Nella Tabella 10 sono riassunti, per le unità geotecniche interessate dall'opera in progetto, i contenuti medi di ciascuna classe granulometrica.

	UG	ciottoli	ghiaia	sabbia	limo	argilla
Valori medi	UG1a	1	59	28	10	2
	UG1	2	42	35	16	5
	UG2	1	26	49	19	5

Tab 10 - Tabella riassuntiva dei contenuti medi percentuali per ciascuna classe granulometrica
(indagini 2010)

Nei paragrafi seguenti si riporta la descrizione delle caratteristiche geotecniche di ciascuna unità ottenute a partire dall'interpretazione dei dati disponibili.

7.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE LITOTIPI

7.3.1 Ghiaie con ciottoli in matrice sabbiosa e ghiaie alterate (Ug1/Ug1a)

Le unità geotecniche Ug1 e Ug1a rappresentano la porzione più grossolana dell'Unità litostratigrafica delle Ghiaie e Sabbie descritta in dettaglio nella Relazione Geologica.

L'unità Ug1 è costituita prevalentemente da ghiaie eterometriche (\varnothing max 6 cm), localmente con ciottoli, in matrice sabbiosa (prevalente) e limoso-argillosa (subordinata: mediamente circa 20%). I litotipi appartenenti all'Unità Ug1 sono presenti con continuità lungo tutto il tronco stradale in progetto a partire da 4-5 m circa di profondità (cfr. L0203D.1301.T00.GE00.GET.FP.01/02, Profilo Geotecnico) e si trovano in rapporto eteropico con i livelli prevalentemente sabbiosi appartenenti all'Ug2. Complessivamente i litotipi appartenenti all'Ug1 presentano caratteristiche di terreni incoerenti da mediamente addensati ad addensati con buone caratteristiche geotecniche che tendono a migliorare con la profondità.

L'unità Ug1a, invece, rappresenta la parte più superficiale (mediamente i primi 6 m) dell'Unità litostratigrafica delle Ghiaie e Sabbie; tale orizzonte presenta caratteristiche granulometriche molto simili all'Ug1, ma è caratterizzato da un maggior grado di alterazione (ciottoli parzialmente alterati e sfatti) e minor grado di addensamento a causa dello sviluppo di processi pedogenetici (orizzonte di alterazione). I litotipi appartenenti all'Unità Ug1a sono costituiti principalmente da ghiaie eterometriche, in matrice sabbiosa (prevalente) e limoso-argillosa (subordinata: mediamente 12%) e affiorano con continuità lungo tutto il tronco stradale in progetto; si tratta di un litotipo prevalentemente incoerente. Subordinatamente fanno parte dell'unità Ug1a anche alcuni orizzonti di potenza pluridecimetrica costituiti da sabbia limosa con ghiaia caratterizzati da un modesto grado di coesione. L'unità Ug1a verrà interessata nel suo complesso dalle attività di scavo previste e rappresenta il terreno di appoggio del rilevato previsto nella tratta "Bretella di Gallarate".

7.3.1 A Caratteristiche geotecniche delle ghiaie alterate (Ug1a)

La parametrizzazione geotecnica dei litotipi appartenenti a tale Unità è stata condotta interpretando i risultati delle indagini disponibili. I parametri geotecnici sono stati ottenuti in parte dalle prove geotecniche di laboratorio realizzate sui campioni rimaneggiati ed in parte, indirettamente, a partire dai risultati delle prove in sito realizzate. Più in particolare, mediante le prove geotecniche di laboratorio sono state determinate le caratteristiche granulometriche, mentre le caratteristiche di resistenza meccanica ed elastiche sono state ricavate dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche (SCPT) e dalle prove sismiche in foro (Down-Hole). I risultati delle prove geotecniche di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche granulometriche e fisiche sono riportati nella tabella seguente:

Sond.	Camp.	Profondità		litotipo	UG	C	G	S	L	A	w (%)
Sc-5	A	3	3.5	G e S deb.L	UG1a		61	31	8		3.6
Sc-6	A	2	2.5	G e S deb. L	UG1a		53	36	11		6.2
	B	5	5.5	G sabb deb L	UG1a		63	29	8		7.6
Sc-7	A	2	2.5	G sabb deb L	UG1a	2	73	19	6		3.9
	B	6	6.5	G sabb deb L	UG1a	1	63	25	11		4.5
Sc-8	A	2.8	3.3	G e S limosa	UG1a		55	30	15		3
Sc-9	A	2	2.5	G sabb deb L	UG1a		59	27	12	2	9.6
Sc-10	A	4.5	5	G sabb deb L	UG1a		66	25	9		3.1
Pz-3	A	2	2.5	G e S deb. L	UG1a		57	34	9		10.7
Pz-5	A	2	2.5	G e S deb. L	UG1a		59	35	6		5.3

Tab.11.1 – Litotipo UG1a: risultati analisi granulometriche e contenuto naturale d'acqua
 (campagna indagini 2010 per il Progetto Definitivo)

SOND.	Camp	da/a	w (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	Class.	UG
SE03-DH	CR1	7.0-7.5	4.51	75	18	5	2	ND	ND	G sabb deb lim	UG1a
SE04-Pz	CR1	2-4	2.84	60	26	14	0	ND	ND	G sabb deb lim	UG1a
SE05-DH	CR1	9-10	11.1	50	26	15.5	8.5	ND	ND	G sabb deb lim	UG1a
SE06-Pz	CR1	8-9	8.64	48	30	13.5	8.5	ND	ND	G e S	UG1a
SE07-Pz	CR1	5-6	18.2	14	44.5	25.5	16	25	17	S limo-ghiaiose	UG1a
SE08-DH	CR1	4-4.5	12.2	56.5	32	8.5	3	ND	ND	G e S	UG1a
SE08-DH	CR2	7-7.5	4.14	68	25	5	2	ND	ND	G sabb deb lim	

Tab.11.2 – Litotipo UG1a: risultati analisi granulometriche e contenuto naturale d'acqua
 (campagna indagini 2018 per il Progetto Esecutivo)

In base ai risultati delle analisi granulometriche, risulta che il litotipo in esame è costituito da ghiaia sabbiosa in matrice limosa (cfr. fig.4.1 e 4.3).

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di resistenza meccanica, si è fatto riferimento ai risultati delle prove in sito (prove penetrometriche SCPT e prove pressiometriche). Nella tabella 12.1 seguente sono riportati i risultati delle prove SCPT e dei valori di angolo di attrito e di modulo di elasticità da esse ricavati. Nella tabella 12.2 sono, invece, riportati i parametri di elasticità, ricavati dai risultati delle prove sismiche in foro (Down-Hole)(N.B.: non sono stati aggiunti i risultati delle nuove down-hole in quanto gli intervalli di velocità registrati sono sovrapponibili).

sondaggio	UG	profondità	Nspt	min ϕ'	Max ϕ'	E (MPa)
Sc-5-PD	Ug1a	1.5	10	23°	30°	13.97
Sc-5-PD	Ug1a	3	18	25°	32°	22.18
Sc-5-PD	Ug1a	4.5	R	---	---	---
Sc-6-PD	Ug1a	1.5	8	22°	29°	11.92
Sc-6-PD	Ug1a	3	29	29°	35°	33.45
Sc-6-PD	Ug1a	4.5	28	28°	35°	32.43
Sc-6-PD	Ug1a	6	28	28°	35°	32.43
Sc-7-PD	Ug1a	1.5	18	25°	32°	22.18
Sc-7-PD	Ug1a	3	7	22°	29°	10.9
Sc-7-PD	Ug1a	4.5	R	---	---	---
Sc-8-PD	Ug1a	1.5	10	23°	30°	13.97
Sc-8-PD	Ug1a	3	R	--	---	---
Sc-8-PD	Ug1a	4.5	R	--	---	---
Sc-8-PD	Ug1a	6	37	31°	38°	41.65
Sc-9-PD	Ug1a	1.5	24	27°	34°	28.33
Sc-9-PD	Ug1a	3	10	23°	30°	13.97
Sc-10-PD	Ug1a	1.5	37	31°	38°	41.65
Sc-10-PD	Ug1a	3	23	27°	34°	27.30
Sc-10-PD	Ug1a	4.5	25	28°	34°	29.35
Sc-10-PD	Ug1a	6	31	29°	36°	35.50
SE03		4.5	16	24°	31°	20
SE04		3	7	22°	28°	10.9
SE06		3.45	15	24°	31°	19
SE07		6	R	--		
Valore medio				26°	33°	25,70

N.B.: il valore minimo dell'angolo di attrito è stato ricavato con la relazione del Japanese National Railway, quello massimo con la relazione di Peck-Hanson & Thornburn. Il valore del modulo elastico è stato ricavato con la relazione di Menzenbach & Malcev

Tab.12.1 - Litotipo Ug1a: Valori di angolo di attrito e modulo elastico ottenuti dai risultati delle prove SCPT (campagna delle indagini 2010 per il prog. definitivo e 2018 per il prog. esecutivo)

Sondaggio	Profondità	litotipo	Vp (m/s)	Vs(m/s)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di taglio G (MPa)
Sc-07-PD	50	Ghiaia alterata	130-370	370-1330	35	12
Sc-09-PD	50	Ghiaia alterata	200-300	370-1030	38	13.4
Valori medi			100-350	350-1300	36.5	12.7

Tab.12.2 – Litotipo Ug1a: Parametri geotecnici ottenuti sulla base dei risultati delle prove sismiche Down-Hole (campagna delle indagini 2010 per il progetto definitivo)

Infine, nella tabella 12.3 seguente sono riportati i risultati delle prove di carico su piastra eseguite all'interno di alcuni pozzetti a scavo realizzati in sede di progettazione definitiva (2010) ed esecutiva (2018).

Pozzetto	Profondità scavo	Profondità prova	Litotipo	Md1 (MPa)	Md2 (MPa)	Modulo di deformazione E (MPa)
Pz-03-PD	3.00	0.75	Limo sabbioso (GCS)	8.09		5.78
Pz-05-PD	3.00	0.50	Sabbia con ghiaia (GCS)	17.62		12.59
PZ E02		0.30	GS	3.96	27.96	2.83
PZ E03		0.30	GS	8.33	45.69	5.95
PZ E05		0.30	GS	16.33	49.18	11.67
PZ E06		0.30	GS	15.00	83.33	10.72
PZ E07		0.30	S L	10.99	70.31	7.85
PZ E08		0.30	GS	6.32	52.33	4.52
PZ E09		0.30	GS	7.25	39.65	5.18
Valori medi				10.43		7.45

Tab.12.3 – Litotipo Ug1a: Parametri geotecnici ottenuti sulla base dei risultati delle prove di carico su piastra (campagna delle indagini 2010 per il prog. definitivo e 2018 per il prog. esecutivo)

All'interno dei litotipi appartenenti all'unità Ug1a non sono state realizzate prove di permeabilità. Per definire le conducibilità idraulica di tale unità si è fatto riferimento ai risultati delle prove Lefranc eseguite nei litotipi appartenenti all'unità geotecnica Ug1, in considerazione del fatto che le caratteristiche granulometriche sono comparabili. Pertanto per i litotipi appartenenti all'unità geotecnica Ug1a si ipotizza un grado di permeabilità da alto a medio, data la minor percentuale di materiale fine (limo e argilla) rispetto ai litotipi dell'unità geotecnica Ug1.

7.3.1 B Caratteristiche geotecniche delle ghiaie in matrice sabbiosa (Ug1)

La parametrizzazione geotecnica dei litotipi appartenenti a tale Unità è stata condotta interpretando i risultati delle indagini disponibili. I parametri geotecnici sono stati ottenuti in parte dalle prove geotecniche di laboratorio realizzate sui campioni rimaneggiati ed in parte, indirettamente, a partire dai risultati delle prove in sito realizzate.

Più in particolare, mediante le prove geotecniche di laboratorio sono state determinate le caratteristiche granulometriche, mentre le caratteristiche di resistenza meccanica sono state ricavate dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche (SCPT) in foro. Le prove sismiche in foro (Down-Hole) sono state, invece, utilizzate per la determinazione dei parametri elastici in sito.

I risultati delle prove geotecniche di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche granulometriche e fisiche sono riportati nelle tabelle seguenti.

In base ai risultati delle analisi granulometriche, risulta che il litotipo in esame è costituito da ghiaia sabbiosa o sabbia debolmente limose (cfr.fig.4.2 e 4.4).

In un solo caso (SE06, CR3) è stato possibile eseguire anche la determinazione di alcuni parametri fisici, ottenendo:

- peso di volume totale 20.53 kN/m³
- peso di volume del secco 17.84 kN/m³
- peso specifico reale 2.73
- contenuto d'acqua 15.1% - Grado di saturazione 77.6%
- Indice dei vuoti 34.7 - Porosità 0.53

I valori su indicati sono riportati solo a titolo di cronaca in quanto un'unica prova non è rappresentativa ai fini della caratterizzazione geotecnica.

Sond.	Camp	profondità	litotipo	UG	C	G	S	L	A	w (%)	LL	LP	IP
Sc-5	B	6.5-7	G sabb deb L	UG1	1	74	18	7		5			
Sc-6	C	10.5-11	G e S limosa	UG1	1	44	37	15	3	4.1			
Sc-7	C	11-11.5	G sabb deb L	UG1		57	33	10		10.7			
	E	30-30.5	S e G limosa	UG1		40	41	16	3	17.4			
Sc-8	B	7.5-8	G e S limosa	UG1	2	53	29	16		8.1			
	D	26.5-27	Sabbia lim.	UG1		9	68	20	3	21.7			
	E	34.5-34.8	Sabbia e limo				44	41	15	27	36	20	16
	F	39.5-40	Sabbia l.g.			24	51	21	4	9.3			
Sc-9	B	6-6.5	litotipo	UG	4	63	22	11		5.4			
	C	9.5-10	Ghiaia	UG1		52	33	13	2	4.8			
	E	23-23.5	Sabbia l.g.		1	23	46	24	6	20.6	32	28	4
Sc-10	B		G e S limosa	UG1		59	30	11		4.2			

Tab.13.1 – Litotipo UG1: risultati analisi geotecniche di laboratorio
 (campagna delle indagini 2010 per il progetto definitivo)

SOND.	Cam p.	da/a	w (%)	G (%)	S (%)	L (%)	A (%)	LL (%)	LP (%)	Class.	
SE03-DH	CR2	14-14.5	6.38	34	38.5	18.5	9	ND	ND	G e S deb limose	UG1
SE03-DH	CR3	23.5-24	18.8	76	18	7	2	ND	ND	G sabbiosa	UG1
SE03-DH	CR4	34-34.5	15.4	19	58	17	6	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE04-Pz	CR2	12-13	6.29	64	31	3	2	ND	ND	G e S	UG1
SE04-Pz	CR3	19-20	10.95	37.5	49	12	1.5	ND	ND	G e S deb limose	UG1
SE04-Pz	CR4	24-25	11.7	22	54	20.5	3.5	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE05-DH	CR2	17-18	12.1	27	43	21	9	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE05-DH	CR3	23-24	17.1	20	56	17	7	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE05-DH	CR4	31-32	14.3	43	39.5	12.5	5	ND	ND	G e S deb limose	UG1
SE06-Pz	CR2	22-23	15.8	29.5	52.5	14	4	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE06-Pz	CR3	33-34	15.1	32	50.5	11.5	6	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE07-Pz	CR2	13-14	11.2	47.5	35.5	11.5	5.5	ND	ND	G e S deb limose	UG1
SE07-Pz	CR3	24.5-25	12.9	20	62	14.5	3.5	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE08-DH	CR3	14.5-15	8.88	39	41	15.5	4.5	ND	ND	G e S deb limose	UG1
SE08-DH	CR4	22-22.5	23.1	13	56	21	10	ND	ND	S ghiaioso-limosa	UG1
SE08-DH	CR5	32-32.5	15.6	34	52.5	11.5	2	ND	ND	G e S deb limose	UG1

Tab.13.2 – Litotipo UG1: risultati analisi geotecniche di laboratorio
 (campagna delle indagini 2018 per il progetto esecutivo)

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di resistenza meccanica, si è fatto riferimento ai risultati delle prove in sito (prove penetrometriche SCPT e prove pressiometriche).

Nella tabella 13.3 seguente sono riportati i risultati delle prove SCPT e dei valori di angolo di attrito e di modulo di elasticità da esse ricavati.

Nella tabella 13.4 sono, invece, riportati i parametri di elasticità calcolati a partire dai risultati delle prove pressiometriche in foro.

Inoltre, nella tabella 13.4 sono riportati i parametri di elasticità calcolati a partire dai risultati delle prove sismiche in foro (Down-Hole).

Sondaggio	UG	profondità	Nspt	Φ' min	Φ' max	E (MPa)
Sc-5-PD	Ug1	6	55	37°	43°	28
Sc-5-PD	Ug1	7.5	57	37°	43°	29
Sc-6-PD	Ug1	7.5	54	36°	42°	27
Sc-6-PD	Ug1	9	40	32°	38°	21
Sc-6-PD	Ug1	12	47	34°	40°	24
Sc-7-PD	Ug1	6	44	33°	40°	23
Sc-7-PD	Ug1	9	67	40°	46°	33
Sc-7-PD	Ug1	28.5	64	39°	45°	32
Sc-7-PD	Ug1	30	43	33°	39°	22.5
Sc-8-PD	Ug1	7.5	81	44°	50°	39
Sc-8-PD	Ug1	9	65	40°	45°	32
Sc-8-PD	Ug1	10.5	61	38°	44°	30
Sc-9-PD	Ug1	4.5	50	35°	41°	26
Sc-9-PD	Ug1	6	67	40°	46°	33
Sc-9-PD	Ug1	9	65	40°	45°	32
Sc-10-PD	Ug1	7.5	43	33°	39°	22.5
Sc-10-PD	Ug1	9	52	36°	42°	26.5
Sc-10-PD	Ug1	10.5	75	43°	48°	36.1
SE03	Ug1	9	19	26°	34°	12
SE03	Ug1	15	27	28°	36°	15
SE03	Ug1	22.5	49	35°	42°	24.5
SE03	Ug1	27	48	34.5°	41.5°	24
SE04	Ug1	9	61	38.5°	44.5°	31
SE04	Ug1	18	31	29°	36.5°	18
SE04	Ug1	21	37	31.5°	38°	20
SE05	Ug1	12	81	45°	50°	39.5
SE05	Ug1	18	50	35°	42°	26
SE05	Ug1	25.5	33	30°	37°	17
SE05	Ug1	30	55	37°	42.5°	37
SE05	Ug1	35	77	43.5°	49°	33
SE06	Ug1	27	35	30.5°	37.5°	18
SE07	Ug1	15	45	34°	41°	23.5
SE07	Ug1	20	43	33°	40°	26
SE08	Ug1	18	51	35.5°	42°	27
SE08	Ug1	21	57	37°	43°	29
SE08	Ug1	24	54	36°	42.5°	27
SE08	Ug1	27	62	38.5°	44.5°	45
SE08	Ug1	30	75	43°	48°	36.1
Media/intervallo				35°	40°	12-40

N.B.: il valore minimo dell'angolo di attrito è stato ricavato con la relazione del Japanese national railway, quello massimo con la relazione di Peck-Hanson & Thornburn. Il valore del modulo elastico con la relazione di Menzenbach & Malcev

Tab.13.3 - Litotipo Ug1: Valori di angolo di attrito e modulo elastico ottenuti dai risultati delle prove SCPT (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

Sondaggio	Profondità foro (m)	litotipo	Vp (m/s)	Vs(m/s)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di taglio G (MPa)
Sc-07-PD	50	Ghiaia sabb-lim (<25m)	370-430	1600-2000	96	32.6
		Ghiaia sabb-lim (>25m)	450-680	2000-2500	193	59
Sc-09-PD	50	Ghiaia sabb-lim (<25m)	330-430	1370-2000	76	26
		Ghiaia sabb-lim (>25m)	430-630	1580-2500	170	58
Valori medi, profondità < 25 m			300-450	1300-2000	86	29.3
Valori medi, profondità >25 m			400-700	1500-2500	181.5	58.5

Tab.13.4 – Litotipo Ug1: Parametri geotecnici ottenuti sulla base dei risultati delle prove sismiche Down-Hole (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

Infine, all'interno dei litotipi appartenenti all'unità Ug1 è stata realizzata una prova di permeabilità in foro tipo Lefranc per definire le conducibilità idraulica del terreno. Il risultato della prova è riportato nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** seguente. Il risultato ottenuto è indicativo di un grado di permeabilità medio-basso

sondaggio	profondità	Tipo prova	Profondità prova (m)	litotipo	Permeabilità k (m/s)
Sc-07-PD	50	Carico var.	12.30	Ghiaia con sabbia (GCS)	1.86E-06

Tab.13.5 – Litotipo Ug1: Risultati delle prove di permeabilità Lefranc
 (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

7.3.1 C Caratteristiche geotecniche delle sabbie e sabbie limose con ghiaia (Ug2)

L'unità geotecnica Ug2 corrisponde alla porzione meno grossolana dell'Unità litostratigrafica delle Ghiaie e Sabbie descritta nel dettaglio nella Relazione Geologica. Essa è costituita principalmente da sabbie grosse e medie (circa il 50%) limose (mediamente circa il 20%), debolmente argillose (mediamente 5-6%), con ghiaia (mediamente circa 25%) e rari ciottoli. Localmente all'interno delle sabbie possono essere presenti livelli discontinui di potenza ridotta di limi sabbiosi che presentano caratteristiche di un terreno maggiormente coesivo. Le sabbie costituiscono degli orizzonti di potenza variabile da pochi metri a oltre 30 metri, presenti generalmente a profondità superiori a 7-10 m lungo tutto il tracciato dell'opera (cfr. Profili geologici).

La parametrizzazione geotecnica dei litotipi appartenenti a tale Unità è stata condotta interpretando i risultati delle indagini disponibili. I parametri geotecnici sono stati ottenuti in parte dalle prove geotecniche di laboratorio realizzate sui campioni rimaneggiati ed in parte, indirettamente, a partire dai risultati delle prove in sito realizzate.

Più in particolare, mediante le prove geotecniche di laboratorio sono state determinate le caratteristiche granulometriche, mentre le caratteristiche di resistenza meccanica sono state ricavate dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche (SCPT) in foro. Le prove sismiche in foro (Down-Hole) sono state, invece, utilizzate per la determinazione dei parametri elastici in sito.

I risultati delle prove geotecniche di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche granulometriche e fisiche sono riportati nella tabella seguente:

Sond.	Camp	profondità	litotipo	UG	C	G	S	L	A	w (%)	LL	LP	IP
Sc-5	C	10.5-11	S lim-gh	Ug2		29	43	21	7	20.3			
	D	16.5-17	S e G lim	Ug2		35	39	19	7	15.2			
	E	22.5-23	S e G lim	Ug2		24	51	21	4	18.7			
Sc-6	D	12.3-14	S lim-gh	Ug2		12	67	18	3	17.2			
	E	16.3-16.8	S e G lim	Ug2	1	33	42	20	4	12.7	21	17	4
	F	21.5-22	S e G lim	Ug2		3	65	24	8	15.9			
	G	27.5-28	S e G lim	Ug2		34	48	18		15.5			
	H	22.3-34	S lim-gh	Ug2		13	65	17	5	16.3			
Sc-7	D	15.8-16.3	S e G lim	Ug2		33	47	16	4	14.3			
Sc-8	C	15.5-16	S e G lim	Ug2		30	42	21	7	13.4	25	15	10
	G	44.5-45	S lim	Ug2		21	60	16	3	16.7			
Sc-9	D	14-14.5	S lim-gh	Ug2		20	55	19	6	15.9			
	F	33.5-34	S lim e G	Ug2		41	41	15	3	17	29	24	5
	G	39.5-40	S lim-gh	Ug2		21	60	16	3	14.7			
Sc-10	C	12.5-13	G e S	Ug2		48	30	16	6	6.5			
	D	16.5-17	S lim e G	Ug2		30	44	19	7	23.3			
	E	35.5-36	S lim e G	Ug2		32	43	18	5	19.9			
	F	42.2-42.7	S lim e G	Ug2		30	53	16	2	11.7			

Tab.14.1 – Litotipo UG2: risultati analisi geotecniche di laboratorio (campagna progetto definitivo)

In base ai risultati delle analisi granulometriche, risulta che il litotipo in esame è costituito da ghiaia sabbiosa con livelli di sabbia limosa, talora debolmente argillosa (cfr.fig.4).

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche di resistenza meccanica, si è fatto riferimento ai risultati delle prove in sito (prove penetrometriche SCPT e prove pressiometriche). Nella tabella 14.2 seguente sono riportati i risultati delle prove SCPT e dei valori di angolo di attrito e di modulo di elasticità da esse ricavati. Nella tabella 14.3 sono, invece, riportati i parametri di elasticità calcolati a partire dai risultati delle prove pressiometriche in foro.

Sondaggio	UG	profondità	Nspt	Φ'	E (kg/cmq)
Sc-5-PD	Ug2	9	21	26°	12.90
Sc-5-PD	Ug2	10.5	24	27°	14.21
Sc-5-PD	Ug2	12	25	28°	14.65
Sc-5-PD	Ug2	13.5	32	30°	17.71
Sc-5-PD	Ug2	15	56	37°	28.20
Sc-5-PD	Ug2	16.5	79	44°	38.25
Sc-5-PD	Ug2	18	R		
Sc-5-PD	Ug2	19.5	R		
Sc-5-PD	Ug2	21	90	47°	43.06
Sc-5-PD	Ug2	22.5	69	41°	33.88
Sc-5-PD	Ug2	24	79	44°	38.25
Sc-6-PD	Ug2	13.5	29	29°	16.40
Sc-6-PD	Ug2	15	31	29°	17.27
Sc-6-PD	Ug2	16.5	57	37°	28.64
Sc-6-PD	Ug2	18	R		
Sc-6-PD	Ug2	19.5	53	36°	28.89
Sc-6-PD	Ug2	21	57	37°	28.64
Sc-6-PD	Ug2	22.5	52	36°	28.45
Sc-6-PD	Ug2	24	58	37°	29.07
Sc-6-PD	Ug2	25.5	R		
Sc-6-PD	Ug2	27	R		
Sc-6-PD	Ug2	28.5	R		
Sc-6-PD	Ug2	30	54	36°	27.33
Sc-7-PD	Ug2	15	28	28°	15.96
Sc-7-PD	Ug2	16.5	32	30°	17.71
Sc-7-PD	Ug2	18	28	28°	15.96
Sc-7-PD	Ug2	19.5	49	35°	25.14
Sc-7-PD	Ug2	21	59	38°	29.51
Sc-7-PD	Ug2	22.5	56	37°	28.2
Sc-7-PD	Ug2	24	78	43°	37.82
Sc-7-PD	Ug2	25.5	84	45°	40.44
Sc-7-PD	Ug2	27	76	43°	36.94
Sc-8-PD	Ug2	13.5	21	26°	12.90
Sc-8-PD	Ug2	15	24	27°	14.21
Sc-8-PD	Ug2	16.5	24	27°	14.21
Sc-8-PD	Ug2	18	30	29°	16.84
Sc-8-PD	Ug2	19.5	42	33°	22.08
Sc-8-PD	Ug2	21	49	35°	25.14
Sc-8-PD	Ug2	22.5	55	37°	27.76
Sc-8-PD	Ug2	24	R		
Sc-8-PD	Ug2	25.5	71	41°	34.76
Sc-8-PD	Ug2	27	52	36°	26.45
Sc-8-PD	Ug2	28.5	R		
Sc-8-PD	Ug2	30	R		

Sc-9-PD	Ug2	13.5	24	27°	14.21
Sc-9-PD	Ug2	15	22	27°	13.34
Sc-9-PD	Ug2	16.5	22	27°	13.34
Sc-9-PD	Ug2	18	24	27°	14.21
Sc-9-PD	Ug2	19.5	31	29°	17.27
Sc-9-PD	Ug2	21	41	32°	21.64
Sc-9-PD	Ug2	22.5	46	34°	23.83
Sc-9-PD	Ug2	24	52	36°	26.45
Sc-9-PD	Ug2	25.5	51	35°	26.02
Sc-9-PD	Ug2	27	51	35°	26.02
Sc-9-PD	Ug2	28.5	57	37°	28.64
Sc-9-PD	Ug2	30	50	35°	25.58
Sc-10-PD	Ug2	12	R		
Sc-10-PD	Ug2	13.5	27	28°	15.53
Sc-10-PD	Ug2	15	25	28°	15.64
Sc-10-PD	Ug2	16.5	43	33°	22.52
Sc-10-PD	Ug2	18	45	34°	23.39
Sc-10-PD	Ug2	19.5	40	32°	21.21
Sc-10-PD	Ug2	21	32	30°	17.71
Sc-10-PD	Ug2	22.5	40	32°	21.21
Sc-10-PD	Ug2	24	58	37°	29.07
Sc-10-PD	Ug2	25.5	62	39°	30.82
Sc-10-PD	Ug2	27	68	40°	33.45
Sc-10-PD	Ug2	28.5	R		
Sc-10-PD	Ug2	30	78	43°	37.82
Valore medio				34°	24.17

N.B.: il valore dell'angolo di attrito è stato ricavato con la relazione del Japanese national railway. Il valore del modulo elastico è stato ricavato con la relazione di Menzenbach & Malcev

Tab.14.2 - Litotipo Ug2: Valori di angolo di attrito e modulo elastico ottenuti dai risultati delle prove SCPT (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

Sond.	Prof.	UG	Litotipo	PL (MPa)	Pf (MPa)	Em (MPa)	G (MPa)	E (Mpa)
Sc-05	10.1m	Ug2	Sabbia lim. con G (SG)	2.50	1.49	26.2	10.1	79.4
Sc-08	19	Ug2	Sabbia lim. con G (SG)	2.50	1.75	35.4	13.6	70.8
Sc-09	22.1	Ug2	Sabbia lim. con G (SG)	2.49	1.94	42.8	16.5	129.7
Sc-10	19	Ug2	Sabbia lim. con G (SG)	2.32	1.77	36.7	14.1	111.2
				2.47	1.79	37.02	14.24	104.89

Tab.14.3 - Litotipo Ug2: Valori dei parametri elastici ottenuti dai risultati delle prove pressiometriche (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

Inoltre, nella tabella 14.4 sono riportati i parametri di elasticità calcolati a partire dai risultati delle prove sismiche in foro (Down-Hole).

Sondaggio	Profondità foro (m)	litotipo	Vp (m/s)	Vs(m/s)	Modulo di Young E (MPa)	Modulo di taglio G (MPa)
Sc-07-PD	50	Sabbia lim con G (<25m)	330-500	1600-2000	117.00	40
Sc-09-PD	50	Sabbia lim con G (<25m)	300-530	1370-2000	87.60	30
		Sabbia lim con G (>25m)	450-600	1600-2500	170.00	58
Valori medi, profondità < 25 m			300-550	1300-2000	102.30	35
Valori medi, profondità >25 m			450-600	1600-2500	170.00	58

Tab.14.4 - Litotipo Ug2: Parametri geotecnici ottenuti sulla base dei risultati delle prove sismiche Down-Hole (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

Infine, all'interno dei litotipi appartenenti all'unità Ug1 è stata realizzata una prova di permeabilità in foro tipo Lefranc per definire le conducibilità idraulica del terreno. Il risultato

della prova è riportato nella tabella seguente. Il risultato ottenuto è indicativo di un grado di permeabilità medio-basso

sondaggio	profondità	Tipo prova	Profondità prova (m)	litotipo	Permeabilità k (m/s)
Sc-07-PD	50	Carico var.	25.80	Sabbia lim con Ghiaia (SG)	1.01E-06
Sc-09-PD	50	Carico var.	12.40	Sabbia lim con Ghiaia (SG)	1.06E-05
		Carico var.	27.40	Sabbia lim con Ghiaia (SG)	4.36E-07
				Valori medi	4.02E-06

Tab.14.5 – Litotipo Ug1: Risultati delle prove di permeabilità Lefranc
 (campagna delle indagini per il progetto definitivo)

7.3.2 Caratterizzazione geotecnica dei vari litotipi

Dall'analisi dei dati esposti nei paragrafi precedenti, le varie unità geotecniche analizzate possono essere caratterizzate mediante i parametri geotecnici riportati nella tabella 15 seguente; per alcuni litotipi per ciascuno dei principali parametri geotecnici si propone un intervallo di valori più o meno ampio, per tener conto del numero ridotto di dati disponibili, soprattutto per quanto riguarda le prove per la determinazione delle proprietà meccaniche, della variabilità sia laterale che verticale delle litologie e dell'eterogeneità composizionale dei terreni presenti.

UG	Litotipo	γ_t	c'	Φ'	E	G
		kN/mc	kPa		MPa	MPa
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia	18-20	0-5	27-34°	10-40	5-15
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	19-21	---	35-40°	70-130 (<25m) 150-200 (>25m)	15-30 (<25m) 45-60 (>25m)
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	18-20	0-10	30-35°	80-130 (<25m) 150-200 (>25m)	10-40 (<25m) 45-60 (>25m)

UG	Litotipo	PL	Mp	k	Vs,30
		MPa	MPa	cm/s	m/s
Ug1a	Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbia con ghiaia			1E-04	100-350
Ug1	Ghiaia in matrice sabbiosa	2,5 (<25m)	40-45 (<25m)	1E-05	250-450 (<25m) 400-700 (>25m)
Ug2	Sabbia e sabbia limosa con ghiaia	2,5 (<25m)	35-40 (<25m)	1E-05	300-500 (<25m) 400-700 (>25m)

Tab. 15 – Caratterizzazione geotecnica dei vari litotipi

Un'ultima considerazione va fatta a riguardo dei parametri di deformabilità dei terreni di fondazione. Come ampiamente illustrato nei capitoli precedenti i terreni di fondazione dei rilevati stradali sono costituiti da terreni a grana grossa (ghiaie e sabbie) con locali intercalazioni di livelli limoso-sabbiosi. Pertanto, il comportamento in grande dell'ammasso è regolato dai termini più grossolani dotati di una bassa deformabilità. Va, inoltre, considerato che nei terreni grossolani i cedimenti che possono generarsi sotto il carico dei rilevati stradali viene scontato interamente in fase di costruzione dei rilevati stessi per cui non vi è da temere cedimenti differiti nel tempo.

8. SUDDIVISIONE DEL PROGETTO IN TRATTE GEOTECNICAMENTE OMOGENEE

Nel tronco stradale in questione il progetto prevede la realizzazione di una tratta in trincea (profondità media degli scavi circa 8 m), con una galleria artificiale tra paratie della lunghezza di circa 80 m, e di una tratta principale in rilevato e viadotto (Bretella di Gallarate) a partire dalla pk 7+348 circa a fine tracciato.

L'infrastruttura stradale in progetto attraversa un settore caratterizzato da un assetto litostratigrafico e geotecnico nel complesso abbastanza omogeneo e costante lungo tutto il percorso. Lungo tutto il tracciato infatti è stata riconosciuta la presenza di tre principali unità geotecniche descritte in dettaglio nel capitolo precedente e rappresentate nel Profilo Geotecnico in asse (L0203D.1301.T00.GE00.GET.FP.01/02.A): Ug1a, Ug1 e Ug2.

L'orizzonte superficiale costituito da ghiaie alterate in matrice sabbiosa (Ug1a) è caratterizzato da una potenza più ridotta compresa tra circa 4 e 7 m e rappresenta il terreno di appoggio dei rilevati. A letto dell'Ug1a sono presenti le ghiaie sane in matrice sabbiosa (Ug1) che si spingono sino alla profondità media di circa 12 m da piano campagna.

Nella tratta prevista in trincea, tuttavia, il terreno di appoggio del piano stradale è costituito principalmente dalle sabbie ghiaiose appartenenti all'unità Ug2. Quest'ultima unità nel settore in oggetto rappresenta l'unità dominante; i sondaggi realizzati sia in fase di progettazione definitiva che esecutiva, infatti, hanno evidenziato potenze superiori ai 25-30 m. Le fondazioni profonde previste per le tratte in viadotto si attesteranno all'interno di tale unità. In base ai dati piezometrici disponibili, la falda si attesta a profondità comprese tra 23 e 28 m circa da piano campagna.

In particolare per l'area di progetto è possibile fare le seguenti considerazioni da un punto di vista geologico/geotecnico.

8.1 CARATTERI GEOTECNICI 1° TRATTO IN TRINCEA DA PROGR. 6+500 A PROGR. 7+250

Il tratto in questione si sviluppa interamente in trincea. E' anche previsto un tratto in galleria artificiale in corrispondenza dello svincolo AB. Le indagini geognostiche effettuate (indagini 2010 + indagini 2018-19), nella zona della trincea e in zone limitrofe, comprendono quattro sondaggi geognostici (SC-05, SC-06, SEi02, SE-03DH,) alcuni pozzetti a scavo (Pz4), prospezioni sismiche in foro (DH) e da superficie (MASW1) (cfr. elaborati grafici e stralci planimetrico e altimetrico di figg.5.1 e 5.2 e tav. BB07).

Come si evince dalle stratigrafie dei sondaggi meccanici (cfr. profilo geotecnico in asse di fig.5.2), il sottosuolo della zona in esame (entro la profondità significativa per il tipo di intervento ivi previsto), al disotto del terreno vegetale, è litologicamente costituito da un'alternanza di strati ghiaioso sabbiosi eterometrici (GCS) e di sabbia media e grossa (SG), prevalenti con intercalazioni di livelli sabbioso-limosi. Il sondaggio SEi02-PZ ha intercettato la falda acquifera alla profondità di 27,70 m circa da piano campagna.

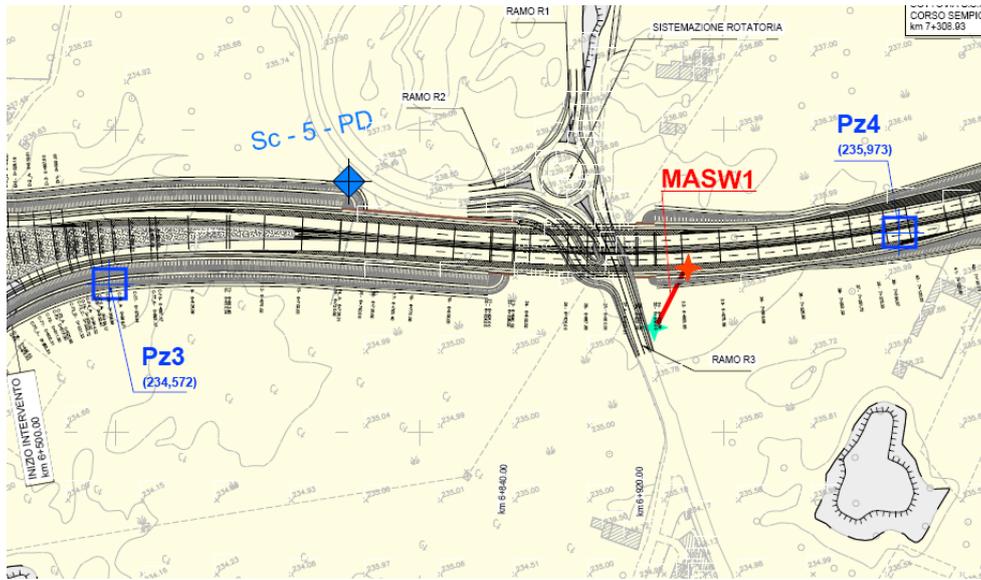


Fig.5.1 - Stralcio planimetrico 1° tratto

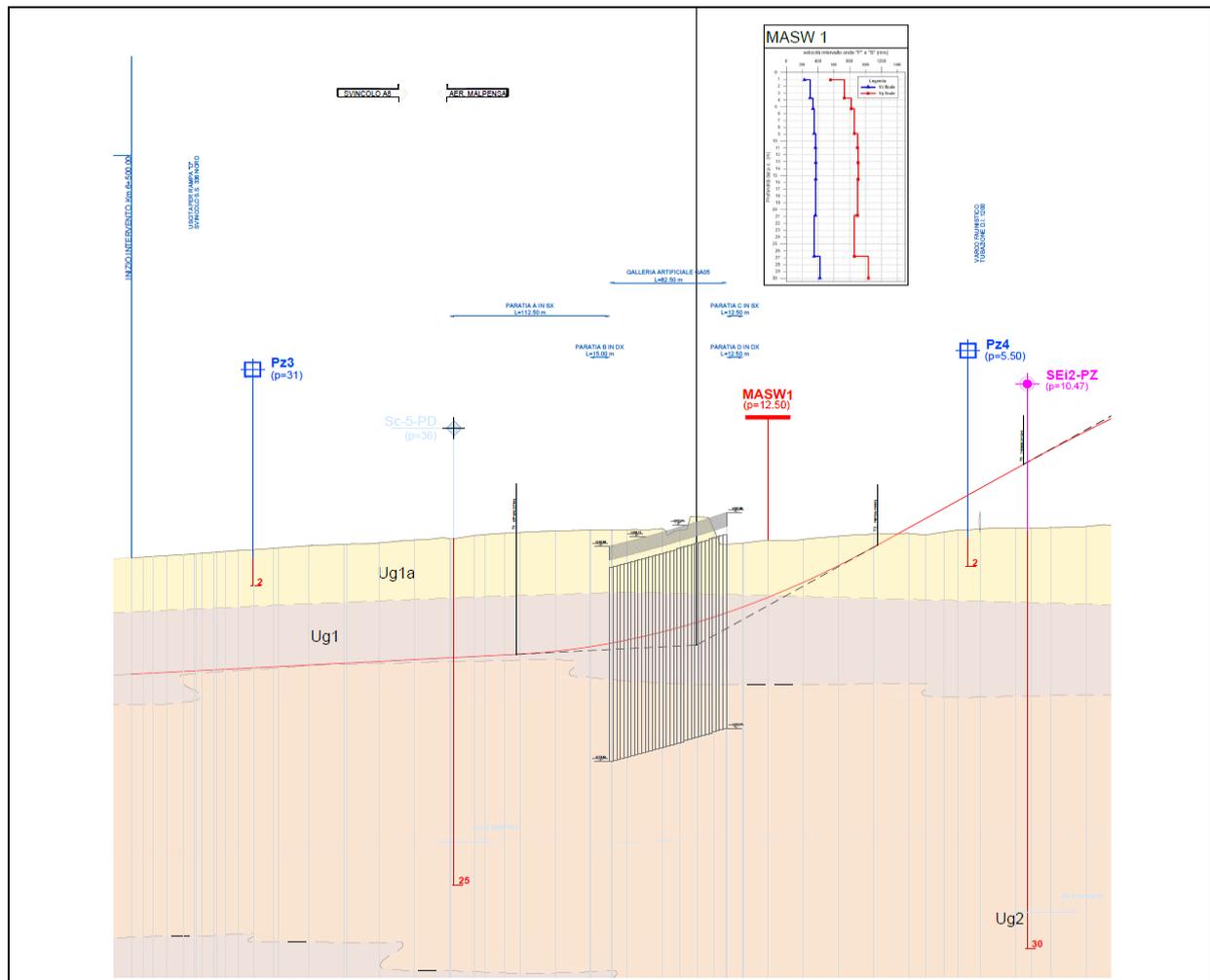


Fig.5.2 - Stralcio profilo longitudinale 1° tratto

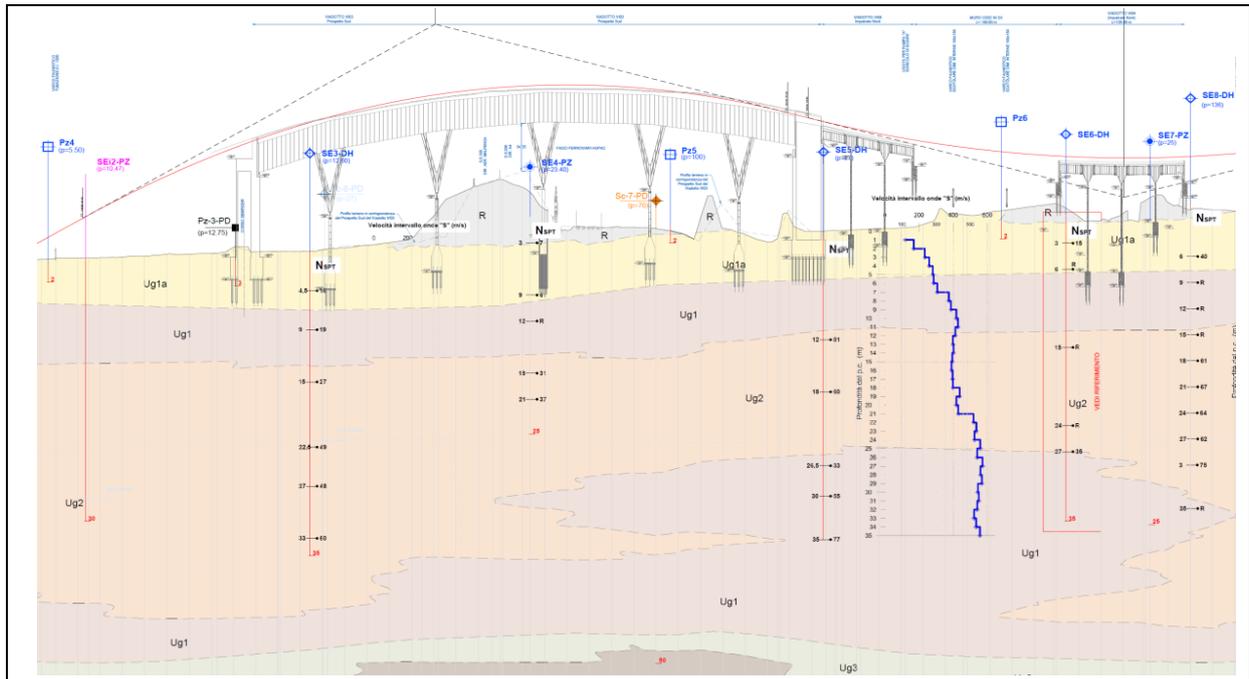


Fig.5.4 – Stralcio profilo longitudinale 2° tratto

Sotto il profilo geotecnico, invece, si intercettano le seguenti unità dall’alto verso il basso: Ug1/Ug1a e Ug2. Per i parametri geotecnici si rimanda alla tabella 15.

Le fondazioni delle spalle e delle pile dei tre viadotti sono su pali di grande diametro immersi nelle unità Ug1 e Ug2.

8.3 CARATTERI GEOTECNICI 3° TRATTO IN RILEVATO DA PROGR. 8+400 A PROGR. 8+844

Il tratto in questione si sviluppa interamente in rilevato. Le indagini geognostiche effettuate (indagini 2010 + indagini 2018) comprendono cinque sondaggi geognostici (SC-8-PD, SC-9-PD, SE-06DH, SE-7-PZ, SE-8DH) alcuni pozzetti a scavo (Pz6÷Pz9) e prospezioni sismiche in foro (DH) (cfr. elaborati grafici e stralci planimetrico e altimetrico di figg.5.5 e 5.6). Quanto fornito dalle indagini su citate è anche confermato dai nuovi sondaggi meccanici eseguiti in prossimità dell’autostrada A8, in corrispondenza delle previste rampe di accesso.

Come si evince dalle stratigrafie dei sondaggi meccanici (cfr. profilo geotecnico in asse di fig.5.6 e tavola BB08), il sottosuolo della zona in esame (entro la profondità significativa per il tipo di intervento ivi previsto), al disotto del terreno vegetale, è litologicamente costituito da un’alternanza di strati ghiaioso sabbiosi eterometrici (GCS) e di sabbia media e grossa (SG), prevalenti con intercalazioni di livelli sabbioso-limosi. I sondaggi meccanici hanno intercettato la falda acquifera a profondità variabile da 23 (SE-06) a 27 m (SE-08) circa da piano campagna.

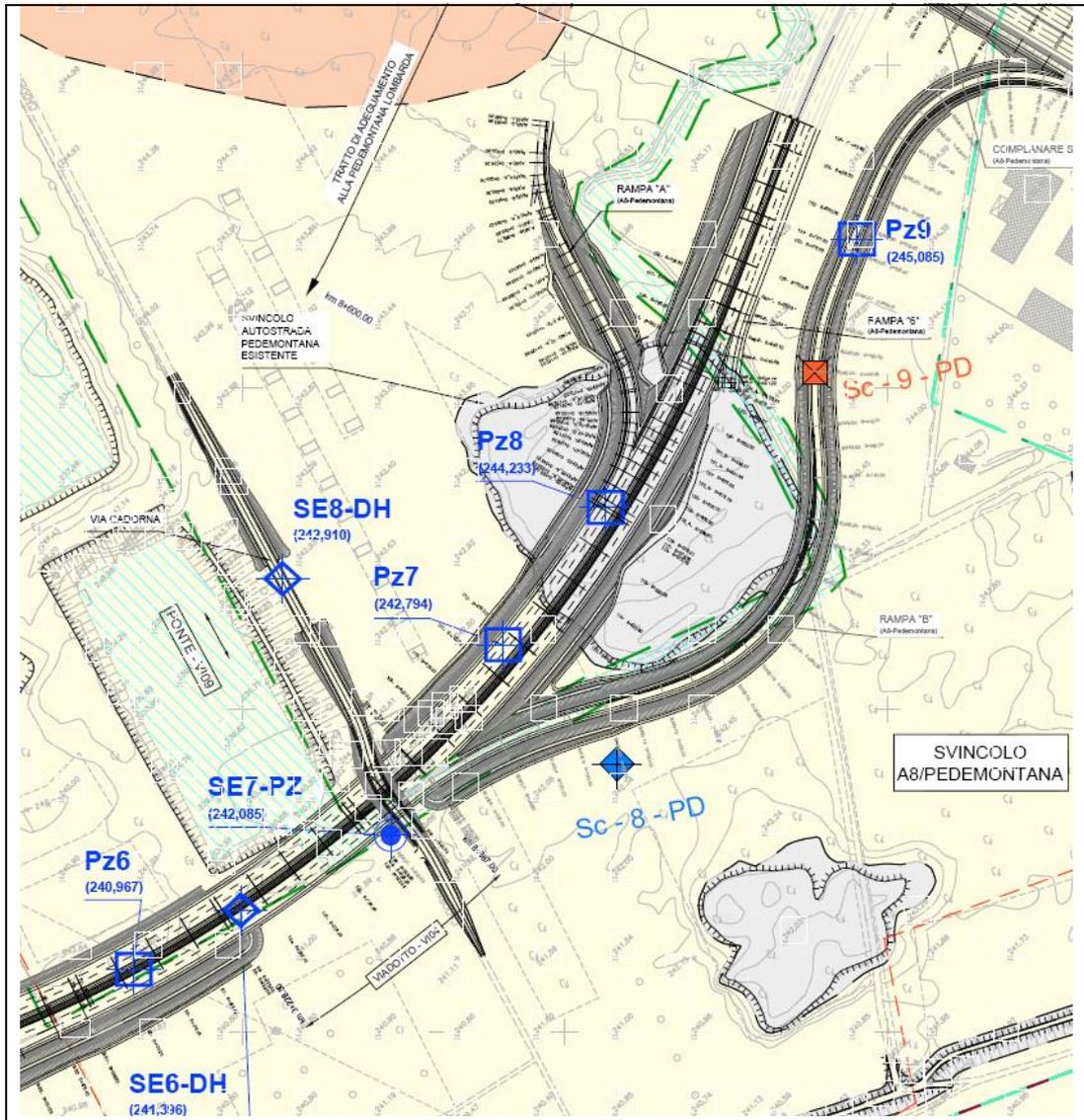


Fig.5.5 – Stralcio planimetrico 3° tratto

Sotto il profilo geotecnico, invece, si intercettano le seguenti unità dall'alto verso il basso: Ug1/Ug1a e Ug2. Per i parametri geotecnici si rimanda alla tabella 15.

Non si ravvisano problemi geotecnici per l'appoggio del rilevato stradale il cui piano di posa interesserà le unità Ug1.

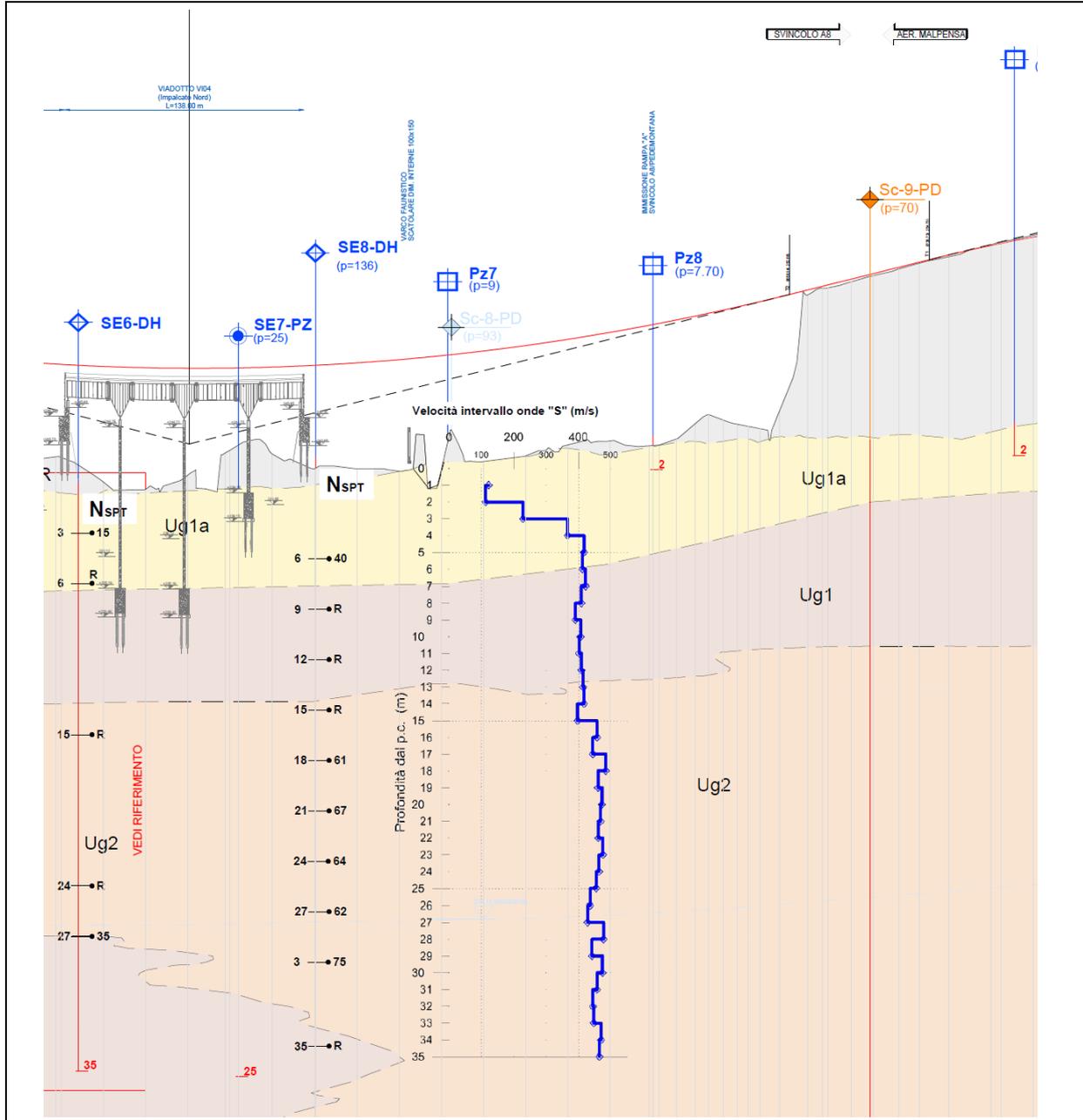


Fig.5.6 – Stralcio profilo longitudinale 3° tratto

8.4 CARATTERI GEOTECNICI ALTRE OPERE

Oltre alle opere sin qui descritte, l'asse stradale è completato da alcuni rami di svincolo in corrispondenza dei quali sono anche previste alcune opere d'arte: svincolo di Sciarè, rami A e B, Svincolo A8/Pedemontana, svincolo SS336, rampe C e D.

Le caratteristiche geologiche e geotecniche che condizionano le opere ivi previste (rilevati, ponticelli, ecc.) sono le stesse già messe in evidenza a riguardo del ramo principale. Non sono presenti situazioni singolari che richiedano particolari approfondimenti. Pertanto, quanto espresso per il ramo principale può essere esteso ai rami secondari.

8.5 PIANI DI POSA RILEVATI E POSSIBILITA' DI RIUTILIZZO MATERIALI DI SCAVO

Come già anticipato al capitolo 6, sia per il Progetto Definitivo che per quello Esecutivo sono state realizzati alcuni pozzetti esplorativi (per la precisione 2 in PD e 8 in PE) spinti sino alla profondità massima di circa 3 m, il che ha permesso di ricostruire l'assetto stratigrafico dei primi metri e di realizzare al loro interno alcune prove di carico su piastra con l'obiettivo di ottenere informazioni sulla deformabilità dei terreni di appoggio.

In totale sono state eseguite 9 prove di carico con piastra da 30 cm di diametro a profondità comprese fra 0.30 e 1.00 m dal piano campagna attuale, adottando la Norma Svizzera (SNV 670317a). I risultati delle prove sono restituiti sotto forma di un grafico pressioni applicate–cedimenti, elaborato utilizzando le letture al manometro ed i cedimenti corrispondenti.

Per i dettagli delle prove si rimanda ai rapporti di prova redatti dalla ditta esecutrice ed allegati al progetto.

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati delle indagini e delle prove svolte.

Pozzetto	Pz-03-PD	Pz-05-PD	PZ E02 CR01	PZ E02 CR02	PZ E04 CR01	PZ E06 CR01	PZ E06 CR02	PZ E08 CR01	PZ E08 CR02
Profondità pozzetto	3	3	1	1	1	2	2	2	2
Profondità prova	0.75	0.50	0.30	1	0.30	0.30	1.0	0.30	1
Litotipo	L s	S g	Gs	Gs	Gs	S L	G s	G S	G s
Classificaz.			A.1.b	A.1.a	A.1.a	A.2.4	A.1.a	A.1.b	A.1.a
W (%)			26			21		25	
Md1 (MPa)	8.09	17.62	3.96			15.00		6.32	
Md2 (MPa)			27.96			83.33		52.33	
Md1/Md2			0,14			0,18		0,12	

Tab.8bis - Tabella riassuntiva delle analisi granulometriche e delle prove di carico su piastra
(campagna indagini 2010 e 2018)

Pozzetto	PZ E03 CR01	PZ E03 CR02	PZ E05 CR01	PZ E05 CR02	PZ E07 CR01	PZ E09 CR01	PZ E09 CR02
Profondità pozzetto	2	2	2	2	1	2	2
Profondità prova	0.30	1.00	0.30	1.00	0.30	0.30	1
Litotipo	Gs	Gs	Gs	S L	G s	G S	S L
Classificaz.	A.1.b	A.1.a	A.1.a	A.2.4	A.1.a	A.1.b	A 4
W (%)	23		13		22	22	
Md1 (MPa)	8.33		16.33		10.99	7.25	
Md2 (MPa)	45.69		49.18		70.31	39.65	
Md1/Md2	0,18		0,33		0,16	0,18	

Tab.8bis - Tabella riassuntiva delle analisi granulometriche e delle prove di carico su piastra
(campagna indagini 2018)

8.5.1 Possibilità di riutilizzo del materiale di scavo

Le analisi granulometriche svolte mostrano che, al di sotto di uno strato di terreno vegetale di spessore variabile da 0,30 a 0,70 m, granulometricamente costituito da limo sabbioso con ghiaia, si rinvengono i depositi grossolani dell'Unità Ug1, costituiti prevalentemente da ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso-limoso. Nelle figure 6.1 e 6.2

seguenti sono riportate due curve granulometriche tipiche dei materiali testati appartenenti alle classi A-1-a e A-2-4 Trattasi, pertanto, di materiale a grana prevalentemente grossa.

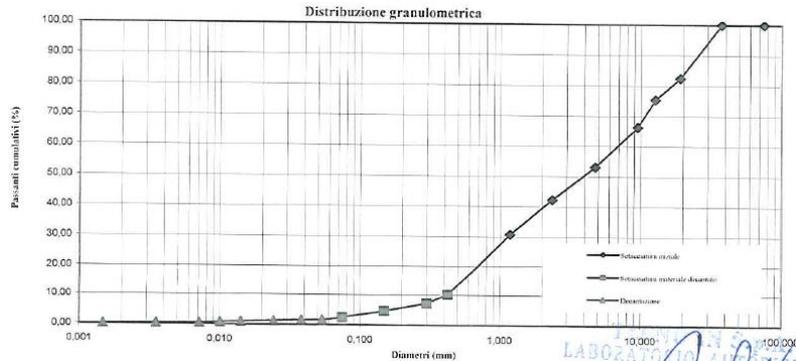


Fig. 6.1 Curva granulometrica tipica dei terreni di classe A 1-a

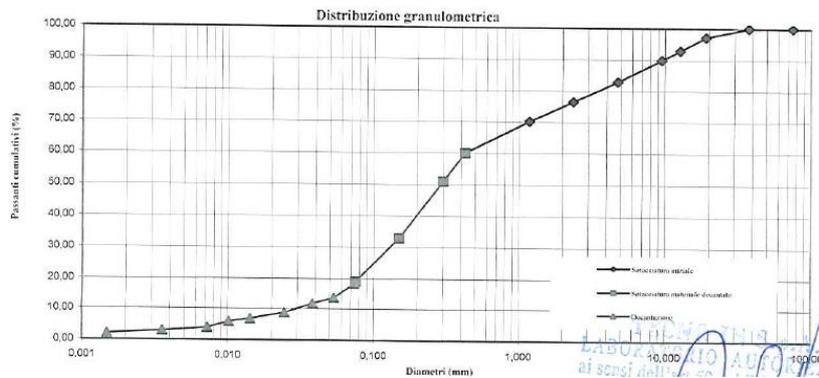


Fig. 6.2 Curva granulometrica tipica dei terreni di classe A 2 4

Le caratteristiche granulometriche dei terreni testati, presenti lungo tutto il tracciato dell'asse viario, mostrano che i materiali di scavo provenienti dalle trincee stradali sono idonei per essere riutilizzati per la costruzione dei rilevati stradali, a meno del terreno vegetale che potrà essere riutilizzato per il rinverdimento dei paramenti dei rilevati.

8.5.2 Piano di posa dei rilevati stradali

Venendo alle prove di carico su piastra, eseguite tutte alla profondità di 30 cm dal piano campagna, i risultati ottenuti mostrano valori bassi del modulo M_{d1} , relativo al primo ciclo di carico, verosimilmente da attribuire al rimaneggiamento della parte più superficiale del fondo del pozzo operato dal mezzo di scavo. Infatti, i valori del modulo M_{d2} , relativo al secondo ciclo di carico, mostrano valori ben più elevati, coerenti con il tipo di materiale testato (A.1.a e A.1.b prevalentemente). Inoltre, i bassi valori del rapporto dei moduli attestano proprio un grado di addensamento basso del materiale.

Tutto quanto sopra considerato, si ritiene che il piano di posa dei rilevati possa essere attestato, prudenzialmente, alla profondità di un metro circa da piano campagna, previa asportazione del terreno vegetale ed eventuale bonifica locale laddove il terreno in sito risultasse granulometricamente costituito da limi sabbiosi.

Inoltre, prima della stesa del materiale da rilevato, si procederà alla compattazione del sottofondo in modo da conseguire un modulo M_d pari almeno a 30 MPa ($=300 \text{ kg/cm}^2$).

9. CONCLUSIONI

L'infrastruttura stradale in progetto attraversa un settore caratterizzato da un assetto litostratigrafico e geotecnico nel complesso abbastanza omogeneo e costante lungo tutto il tratto in esame. Lungo tutto il tracciato infatti è stata riconosciuta la presenza di tre principali unità geotecniche descritte in dettaglio nel capitolo precedente e rappresentate nei profili geotecnici : Unità Ug1a, Ug1 e Ug2.

All'interno di tale settore il progetto prevede la realizzazione di una tratta in trincea (profondità media degli scavi circa 8 m), con una galleria artificiale tra paratie della lunghezza di circa 80 m, e di una tratta principale in rilevato e in viadotto (Bretella di Gallarate) a partire dalla progr.7+050 circa e fino a fine tracciato.

L'orizzonte superficiale costituito da ghiaie alterate in matrice sabbiosa (Ug1a) è caratterizzato da una potenza più ridotta compresa tra circa 4 e 7 m e rappresenta il terreno di appoggio dei rilevati. A letto dell'Ug1a sono presenti le ghiaie pulite in matrice sabbiosa (Ug1) che si spingono sino alla profondità media di circa 12 m da piano campagna.

Nella tratta prevista in trincea (progr.5+800-progr.7+050 circa) il terreno di appoggio del piano stradale è costituito principalmente dalle sabbie ghiaiose appartenenti all'unità Ug2. Quest'ultima unità nel settore in oggetto rappresenta l'unità dominante; i sondaggi realizzati nelle varie fasi, infatti, hanno evidenziato potenze superiori ai 25-30 m.

Le fondazioni profonde previste per le tratte in viadotto si attesteranno all'interno di tale unità. In base ai dati piezometrici disponibili, la falda si attesta a profondità comprese tra 23 e 28 m circa da piano campagna.

Non si ravvisano particolari problematiche geotecniche, come esposto nei capitoli precedenti.