

Provincia di Cuneo
S.S. 28 del Colle di Nava
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con
collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6
"Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. T008

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:

RAGGRUPPAMENTO



MATILDI+PARTNERS

TEMPORANEO PROGETTISTI

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Andrea Renso – TECHNITAL
Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413

IL PROGETTISTA:

Dott. Emanuele Fresia
Ordine Geologi del Veneto n. A 501

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE:

Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS

Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A

COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E

COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE:

Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL

Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381

OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA:

Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL

Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984

OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI:

Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS

Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550

GEOTECNICA:

Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL

Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598

IDROLOGIA ED IDRAULICA:

Ing. Simone Venturini – TECHNITAL

Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515

IL GEOLOGO:

Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL
Ordine Geologi Veneto n. A501

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS
Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Giuseppe Danilo Malgeri

PROTOCOLLO:

DATA:

02 – RILIEVI E INDAGINI GEOTECNICHE

Relazione risultati indagini in sito

CODICE PROGETTO		NOME FILE		PROGR. ELAB.	REV.	SCALA:
DPT00008D16		02.07_P00_GE00_GEN_RE01_A		02.07		
		CODICE ELAB. P00GE00GENRE01			A	–
D						
C						
B						
A	EMISSIONE	Marzo 2020	Technital	Fresia	Piccoli	Renso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE	1
2. OGGETTO DEL LAVORO	4
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE	5
3.1 PREMESSA	5
3.2 Sondaggi.	6
3.3 Installazione e lettura inclinometri .	8
3.4 Installazione e letture piezometri .	9
3.5 Installazione tubazioni per down hole.	10
3.6 Prelievo di campioni .	11
3.7 Prove SPT.	12
3.8 Prove Lugeon.	14
3.9 Prove pressiometriche.	15
3.10 Prove dilatometriche.	18
3.11 Pozzetti con prove di carico su piastra.	19
3.12 Prove di laboratorio geotecnico.	21
3.13 Indagini geofisiche.	22

1. INTRODUZIONE

La nuova tangenziale di Mondovì (Cuneo) rientra nel piano di riordino del sistema viario del Piemonte Sud Occidentale. Sviluppata interamente nel territorio comunale di Mondovì drena il flusso di traffico proveniente dal quadrante Sud-Est collegando la S.S. 28, la S.P. 5 e la S.S. 564 con l'Autostrada A6 Torino-Savona presso lo svincolo di Mondovì.

La progettazione e realizzazione della suddetta arteria stradale è stata suddivisa in 3 lotti funzionali, Figura 1.1, dei quali i primi due sono stati già completati e pienamente operativi, mentre il terzo è oggetto di progettazione.

Il lotto n° 3 di cui al presente Progetto Definitivo è lungo 2.667 m circa e, con una direzione sostanzialmente Ovest-Est, assicura a Sud del centro abitato il collegamento fra la S.P. 5 Villanova – Mondovì e la S.S. 28 del Colle di Nava.

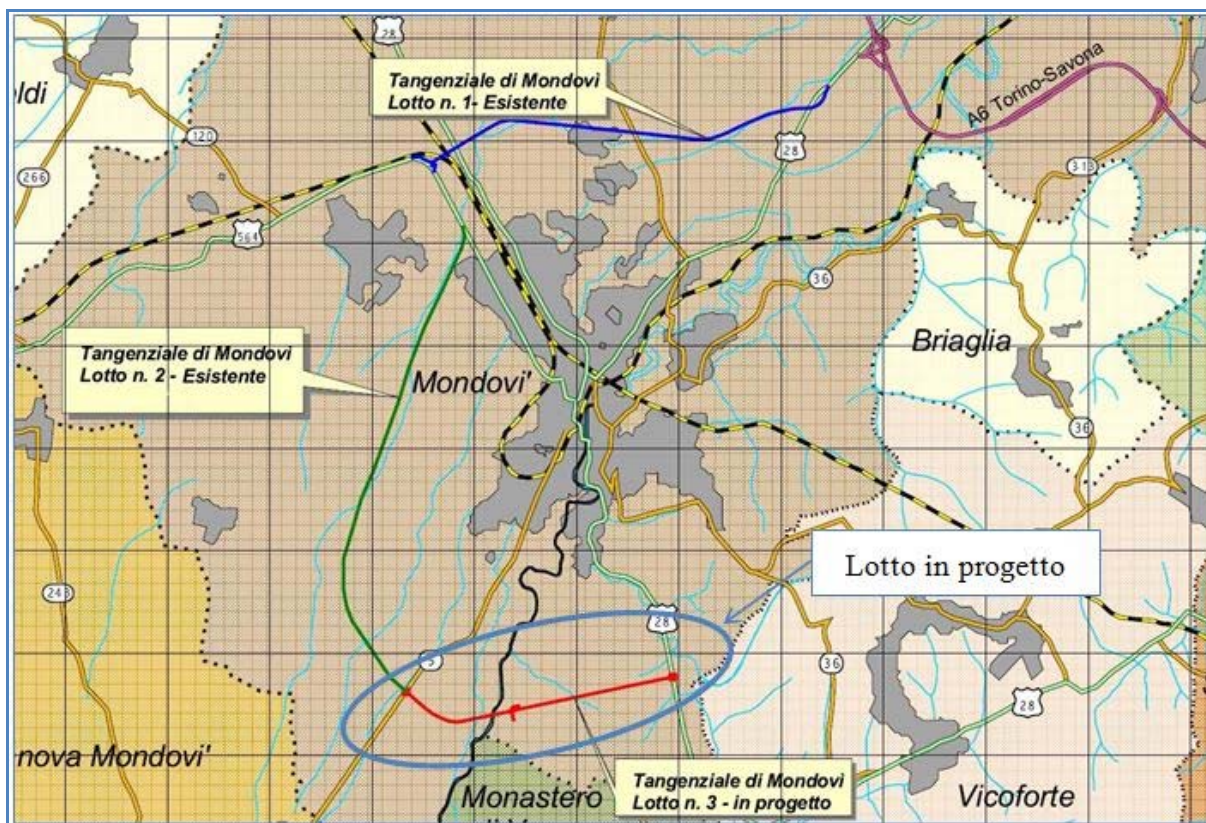


Figura 1.1 Tangenziale di Mondovì. Inquadramento geografico a grande scala

L'arteria stradale, in analogia con i lotti precedenti, è una classe C1 a doppio senso di marcia con corsie da 3,75 m, banchine laterali da 1,5 m ed elementi marginali secondo normativa per una velocità di progetto minima di 60 Km/h e massima di 100 Km/h.

L'intervento ha inizio sull'esistente rotatoria nella S.P. 5 Villanova – Mondovì, termine del 2° lotto, da dove il tracciato prosegue verso Est. Dopo un tratto in rilevato, scavo e galleria artificiale lungo circa 700 m scavalca il Torrente Ellero tramite un viadotto che raggiunge in sponda destra il piede della collina monregalese di S. Lorenzo, poco a valle di Via Vecchia di Frabosa. Al viadotto fa immediatamente seguito la galleria naturale S. Lorenzo, che attraversa una dorsale allungata in direzione Nord – Sud. L'opera in sotterraneo sottopassa non solo Via Vecchia di Frabosa ma anche altre due viabilità ad essa parallele, poste a quota maggiore, che sono Via delle Oche e Via Vecchia di Monastero. Dopo l'imbocco orientale un breve tratto all'aperto di circa un centinaio di metri permette il collegamento, tramite una rotatoria, con la S.S. 28.

Le opere principali sono quindi una galleria artificiale, il Viadotto Ellero e la galleria S Lorenzo.

La galleria artificiale ha sezione rettangolare ed è lunga 150 m.

Il viadotto ha una lunghezza complessiva di 240 m circa ed è composto da 4 campate con fondazioni profonde su pali.

La Galleria San Lorenzo ha uno sviluppo totale di circa 1.412 m comprensivi dei tratti in artificiale agli imbocchi di lunghezza pari a circa 60 m lato Ovest e 55 m sul lato Est. La copertura varia tra un minimo di circa 10 m in zona imbocco fino ad un massimo di 110 m nel settore centrale.

La figura seguente riporta uno stralcio del profilo di progetto a scale sfalsate.

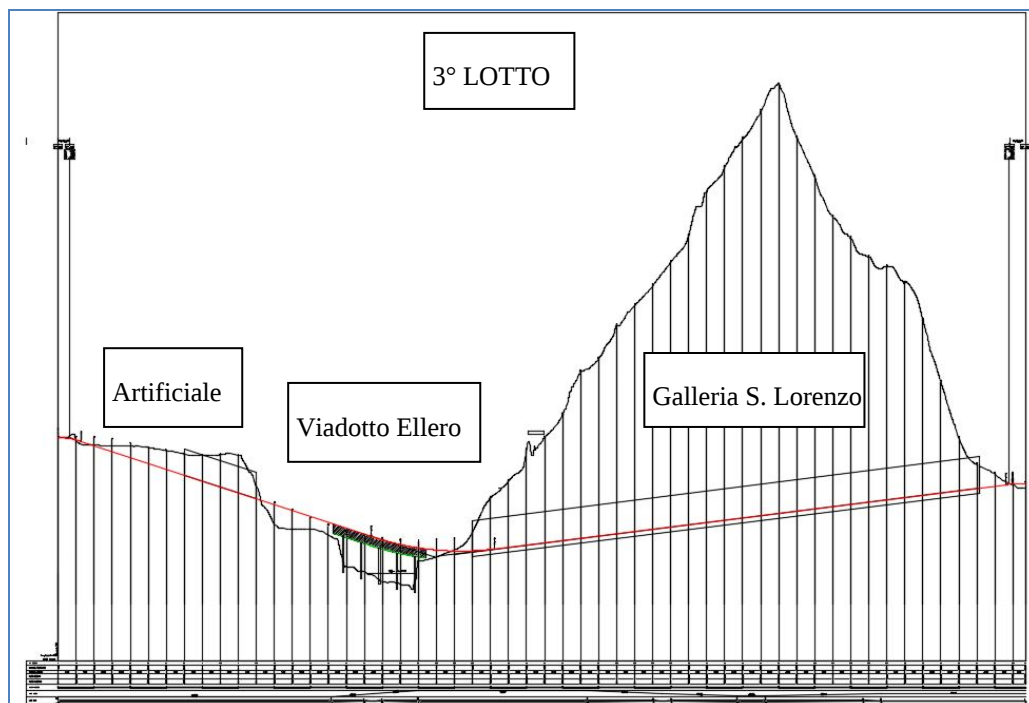


Figura 1.2 Profilo di progetto

Il Progetto Preliminare prevedeva anche uno svincolo sulla Via Vecchia di Frabosa, fra il viadotto Ellero e la Galleria S Lorenzo, per il collegamento con il Rione Borgato di Mondovì. Lo stesso Comune di Mondovì, con nota prot 22002 del 05-07.2018, ha richiesto una modifica al Progetto Preliminare con la soppressione del citato svincolo e la realizzazione, in sua vece ed in posizione distaccata rispetto al tracciato principale (circa 1,5 Km a nord) di un ponte ad unica campata sul torrente Ermena fra il rione Borgato ed il Km 31 della S.S.28 (Figura 1.3).

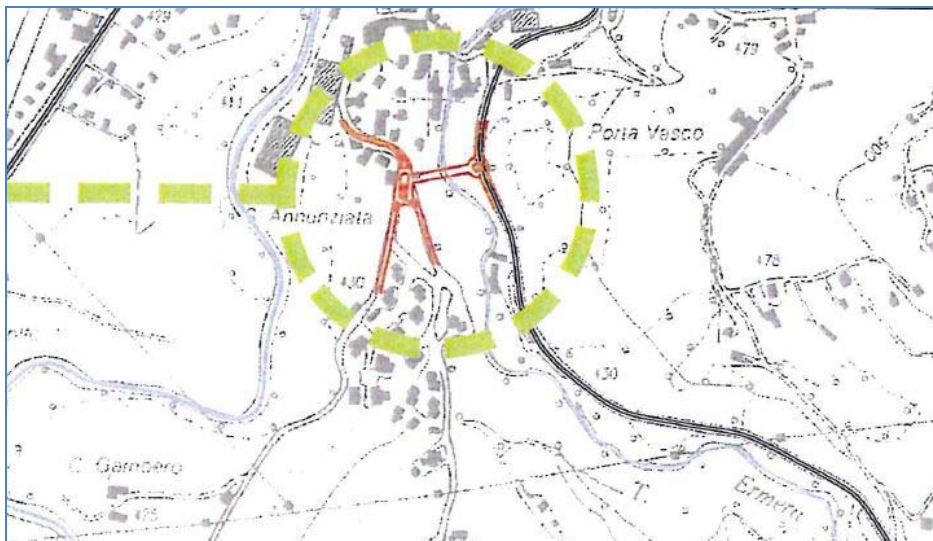


Figura 1.3 Ponte sul torrente Ermena nella soluzione proposta dal Comune di Mondovì

Partendo dal Progetto Preliminare, redatto nel dicembre 2003, il presente documento ha preso avvio attraverso una raccolta bibliografica di dati ed informazioni recenti riguardanti l'areale in studio. Per un primo inquadramento è stata consultata la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, foglio 80 "Cuneo" con relative note illustrative. Un'ulteriore livello di dettaglio è stato ricavato dalla documentazione allegata al PAI del Fiume Po, di cui l'Ellero attraverso il Tanaro è affluente, dal catalogo IFFI, Inventario dei fenomeni Franosi d'Italia, dalla documentazione reperibile presso le banche dati dell'Ufficio Difesa del Suolo della Regione Piemonte e dell'ARPA, dal Geoportale dell'Arpa Piemonte ed ancora dal P.R.G. del Comune di Mondovì.

Attraverso queste fonti è stato possibile, fra le altre cose, acquisire gli esiti di indagini geognostiche e monitoraggi ricadenti in corrispondenza o nell'immediato intorno al tracciato di progetto, che si integrano alle indagini specificamente eseguite nel settembre 2003 in sede di progettazione preliminare.

Sulla base dei dati disponibili un'integrazione del quadro conoscitivo è stata ottenuta attraverso una specifica e più dettagliata campagna di indagini geognostiche e geofisiche, con rilievi di campagna, condotta fra la primavera e l'autunno del 2019 in sede di progettazione definitiva.

2. OGGETTO DEL LAVORO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione illustrativa delle indagini geognostiche e geotecniche eseguite nel 2019 a corredo del Progetto Definitivo del 3° lotto della Tangenziale di Mondovì, dalla S.P. 5 Villanova-Mondovì alla S.S. 28 del Colle di Nava.

Oggetto del lavoro è una panoramica delle indagini eseguite e delle attrezzature, normative e metodologie impiegate così come risultano dalle dichiarazioni e dalla documentazione tecnica fornita dalla ditta esecutrice.

I risultati delle indagini in termini di ubicazione planimetrica, colonne stratigrafiche, documentazione fotografica, interpretazione indagini geofisiche, risultati delle prove in sito e di laboratorio sono contenuti negli specifici e sottolencati elaborati progettuali, cui si rimanda per maggiori dettagli.

	02 - RILIEVI E INDAGINI GEOTECNICHE
02.08_P00_GE00_GEN_PU01_A	Ubicazione indagini in sito (geotecniche e geofisiche)
02.10_P00_GE00_GEN_RE03_A	Indagini geognostiche campagna anno 2019. Sondaggi e prove in sito
02.12_P00_GE00_GEN_RE04_A	Indagini geognostiche campagna anno 2019. Prove di laboratorio
02.13_P00_GE00_GEN_RE05_A	Indagini geognostiche campagna anno 2019. Geofisica

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

3.1 PREMESSA

La campagna d'indagini finalizzata alla progettazione definitiva è stata svolta dalla ditta Tecno In S.p.A. fra i mesi di giugno e novembre 2019 su incarico conferito direttamente da Anas. Le attività eseguite comprendono:

- 1 n° 14 sondaggi a carotaggio continuo. Di questi n 4 sono attrezzati con inclinometro, n 8 con piezometro a tubo aperto e n 2 con tubazione in PVC pesante per prova down hole;
- 2 prelievo nel corso dei sondaggi di n. 9 campioni indisturbati, n. 59 campioni rimaneggiati e n. 49 campioni litoidi;
- 3 esecuzione nel corso dei sondaggi di n. 18 SPT, n. 2 prove pressiometriche, n. 8 prove dilatometriche, n. 7 prove di permeabilità tipo Lugeon in roccia;
- 4 n° 4 pozzetti esplorativi profondi 2 m ciascuno, ubicati nei tratti in rilevato o a raso, con n. 3 prove di carico con piastra su due cicli e prelievo di n. 8 campioni rimaneggiati;
- 5 n° 6 traverse sismiche a rifrazione in onde P e SH di lunghezza 200 m (la sola prova SR1 era lunga 115) concentrate in corrispondenza dell'imbocco ovest della galleria;
- 6 n° 2 prove tipo Masw per la determinazione della categoria di suolo di fondazione in zona d'imbocco della galleria;
- 7 n 2 prove down hole in foro di sondaggio per la determinazione della categoria di suolo di fondazione in corrispondenza dei viadotti;
- 8 georeferenziazione di tutte le indagini eseguite sia dirette (sondaggi e pozzetti) che indirette (geofisica);

La normativa di riferimento per le attività eseguite è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018
- Allegati alle Norme Tecniche per le Costruzioni "Approvate con Decreto Ministeriale 14.01.2008"
- Raccomandazioni AGI (1977)
- Modalità Tecniche ANISIG (1977)
- Capitolato speciale d'appalto ANAS per le indagini geognostiche.

Nei paragrafi seguenti sono elencate le attività eseguite e sono descritte le procedure e tecnologie adottate. Per maggiori dettagli sui relativi risultati si rimanda alla relazione geologica ed alla relazione geotecnica allegate al progetto.

3.2 Sondaggi.

Le perforazioni sono state eseguite interamente a carotaggio continuo ed attrezzate con piezometro, inclinometro o con tubazione in PVC per l'esecuzione di prove down hole utilizzando le seguenti attrezzature:

<u>GELMA 1</u>	<u>COMACCHIO MC1200</u>
• testa di rotazione 0-600 rpm • slitta di avanzamento 4.00 m • centralina oleodinamica • argano idraulico • freno blocca aste • pompa a pistone • doppia morsa	• testa di rotazione 0-350 rpm • slitta di avanzamento 3.40 m • centralina oleodinamica • argano idraulico • freno blocca aste • pompa a pistone • doppia morsa

La squadra operativa tipo era composta da n°1 sondatore, n° 1 aiuto sondatore e n° 1 geologo della ditta esecutrice, il quale ha provveduto alla stesura dei log stratigrafici.

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti a rotazione con il metodo classico con sistema ad aste e carotiere. La perforazione avviene tramite aste di collegamento che vengono estratte dopo ogni manovra (tratto perforato) per recuperare dal carotiere, posto alla base della colonna di aste, il materiale carotato. Il raggiungimento di profondità maggiori avviene aggiungendo in superficie aste alla batteria. Le aste impiegate hanno diametro di 76.1 mm. Per stabilizzare le pareti del foro ed evitare che frani viene inserita la tubazione di rivestimento metallico provvisorio di diametro 127mm.

I carotieri utilizzati per i sondaggi in oggetto sono il carotiere semplice T1, con diametro esterno 101mm, e carotiere doppio T6, con diametro esterno 101 mm

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisori e coperchio apribile di dimensioni 5 m x 1 m, ed una volta scortecciate sono state fotografate.

Su ogni cassetta è stato indicato l'oggetto, il cantiere, la località, la profondità, la data e la sigla identificativa del sondaggio.

Durante la campagna geognostica le cassette sono state stoccate in cantiere. Al termine delle attività sono state trasportate presso la sede della ditta Tecno-In dove sono a disposizione per eventuali controlli.

Come anticipato nel corso delle perforazioni si sono prelevati campioni rimaneggiati, indisturbati e litoidi, e sono state eseguite prove in sito tipo SPT, pressiometriche, dilatometriche e di permeabilità in avanzamento.

La Tabella 3.1 riepiloga i sondaggi eseguiti con relative profondità, ubicazione, condizionamento, livello di falda a fine terebrazione, numero prove in sito e campioni distinti per tipologia.

Le prove di permeabilità, pressiometriche e dilatometriche, in particolare, sono concentrate in corrispondenza di sondaggi posti lungo lo sviluppo della galleria naturale.

INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO 2019													
Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	PZ	DH	I	Livello di falda (m da p.c.)	SPT	CI	CR	CL	PERM	PRESS	DIL
S2_Pz	30	Tratto all'aperto				5,75	4	2	4				
S3_DH	35	Viadotto lato W				nd	1	1	11				
S4_I	30	Viadotto lato E				25	-	-	2	8			
S5_Pz	20	Imbocco W di PD				4,02	5	1	4	3			
S5bis_I	30	Imbocco W asse sud				nd	1	1	4	1			
S5ter_Pz	30	Imbocco W asse nord				2,68	-	-	3	2			
S6_I	30	Imbocco W asse nord				+1,22	-	-	4	4			
S7_Pz	60	Galleria naturale				24,00	-	-	9	5	2		2
S8_Pz	120	Galleria naturale				71,3	-	-	2	13	2		2
S9_Pz	70	Galleria naturale				21,22	-	-	4	7	3		2
S10_Pz	20	Imbocco est				4,4	1	2	2	1		2	2
S11_Pz	20	Ponte spalla E				3,58	-	-	1	4			
S12_DH	35	Ponte spalla W				nd	4	1	5	-			
S13_I	30	Imbocco W asse sud				1,2	2	1	4	1			
TOTALE							18	9	59	49	7	2	8

Tabella 3.1 Riepilogo sondaggi con relative prove in sito e campioni prelevati

Di seguito si riporta la tabella con la georeferenziazione dei sondaggi in termini di coordinate Gauss Boaga.

Sigla ID	Coordinata G.B. Est	Coordinata G.B. Nord	Quota assoluta p.c. (m s.l.m.)	Quota assoluta t.t. (m s.l.m.)
S02-PZ	1404688,286	4913166,347	467,649	467,779
S03-DH	1405019,609	4913265,212	443,826	
S04-I	1405255,862	4913396,683	437,933	438,018
S05-PZ	1405366,673	4913249,617	462,553	462,353
S05BIS-I	1405253,481	4913082,132	455,717	455,141
S05TER-PZ	1405347,657	4913473,383	439,312	439,392
S06-I	1405452,762	4913484,591	456,781	456,908
S07-PZ	1405770,753	4913477,302	502,901	502,667
S08-PZ	1406203,711	4913377,787	575,988	575,904
S09-PZ	1406443,101	4913556,636	517,322	517,175
S10-PZ	1406763,757	4913551,646	463,774	463,649
S11-PZ	1406058,574	4914900,873	420,265	420,065
S12-DH	1405976,501	4914912,851	424,03	
S13-I	1405216,540	4912985,153	457,531	457,632

p.c.= piano campagna t.t.= testa tubo

Tabella 3.2 Georeferenziazione sondaggi

3.3 Installazione e lettura inclinometri .

Al termine dell'esecuzione dei sondaggi S04-I, S05bis-I, S06-I e S13-I si è provveduto all'installazione di tubi inclinometrici attraverso le seguenti modalità:

- controllo che i tubi non presentassero lesioni soprattutto nelle parti terminali;
- controllo che le estremità dei tubi non presentassero sbavature tali da compromettere il buon accoppiamento;
- verifica dell'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione;
- preparazione dei componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;
- verifica quota fondo foro.
- pre-assemblaggio dei tubi in spezzoni di 6 m
- inserimento dei tubi pre-assemblati ed al termine bloccarli con una cravatta a bocca foro
- inserimento del secondo spezzone pre-assemblato con giunzione al primo tramite avvitarmento
- prosecuzione delle operazioni fino a quota fono foro.
- cementazione dal basso verso l'alto tramite tubicino di iniezione precedentemente inserito con miscela cementizia acqua cemento bentonite in rapporto 100,30,5 rispettivamente;
- estrazione del rivestimento di perforazione senza l'ausilio della rotazione. Durante questa fase sono

- stati eseguito eventuali rabbocchi necessari di miscela di cementazione direttamente dall'alto;
- posa in opera di pozzetto di protezione.

Al termine dell'installazione è stato eseguito il collaudo della tubazione mediante l'inserimento di una sonda testimone.

La misura di zero sugli inclinometri è stata eseguita in data 21/01/2019 adottando un passo delle misure da 100 cm, a partire da fondo foro ed operando su 4 guide. Si è utilizzata una sonda inclinometrica biassiale della Durham Geo – Slope indicator connessa ad un data logger.

Da questa misura è risultato che le tubazioni installate hanno una deviazione dalla verticale inferiore al 2%.

Le letture secondo programma proseguiranno con cadenza trimestrale per un periodo previsto di circa un anno.

3.4 Installazione e letture piezometri .

In corrispondenza dei sondaggi S02-PZ, S05-PZ, S05ter-PZ, S07-PZ, S08-PZ, S09-PZ, S10-PZ, S11-PZ si è provveduto all'installazione di piezometri a tubo aperto protetti da pozzetto metallico.

La tubazione installata è costituita da tubi ciechi e filtranti in PVC del diametro di 2" con estremità filettate; il tratto filtrante ha finestrature trasversali di ampiezza 0,4-1,0 mm e spaziatura di 9 mm,.

Prima della posa in opera sono stati eseguiti i seguenti controlli:

- assenza di lesioni
- assenza di anomalie nei filetti di giunzione per non compromettere il buon accoppiamento dei tubi

A valle dei controlli descritti, sono state effettuate le seguenti operazioni per la posa in opera:

- verifica della quota di fondo foro con scandaglio;
- lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo;
- inserimento del tubo finestrato e cieco;
- realizzazione dello strato filtrante in ghiaietto per lo spessore richiesto;
- formazione del tappo impermeabile costituito da compactonite in pellets;
- estrazione del rivestimento del foro senza ausilio della rotazione;
- posa in opera di pozzetto di protezione a bocca foro.

Nel corso della campagna geognostica sono state eseguite, con cadenza settimanale, misure del livello di falda nei piezometri installati i cui valori sono riportati nella seguente tabella.

Ulteriori misure saranno eseguite con cadenza trimestrale per un arco di tempo pari ad un anno.

Per la misura del livello di falda, è stata utilizzata una sonda freaticometrica costituita da un cavo graduato alla cui estremità è posizionato un puntale che emette un segnale acustico, a contatto con il pelo libero dell'acqua.

		Letture piezometriche (in m dal p.c.)							
		S02-PZ	S05-PZ	S05ter-PZ	S07-PZ	S08-PZ	S09-PZ	S10-PZ	S11-PZ
Data	21/06/2019	5,75	-	-	-	-	-	-	-
	27/06/2019	5,74	-	-	-	-	-	-	-
	04/07/2019	5,72	-	-	-	-	-	-	-
	10/07/2019	5,73	-	-	-	-	-	-	-
	16/07/2019	5,73	-	-	-	-	-	4,21	3,51
	25/07/2019	5,73	4,16	0,10	-	-	-	4,21	3,55
	01/08/2019	5,73	4,21	0,10	-	-	-	4,21	3,58
	22/08/2019	5,21	4,11	p.c.	-	71,85	-	5,03	4,53
	28/08/2019	4,82	4,15	p.c.	-	71,72	-	5,12	4,70
	06/09/2019	4,39	4,19	p.c.	-	71,98	-	5,34	4,89
	12/09/2019	3,97	4,23	p.c.	-	72,09	-	5,55	4,99
	19/09/2019	3,92	4,18	0,1	-	72,25	-	5,69	4,88
	25/09/2019	3,44	4,18	0,1	-	72,58	-	5,45	4,84
	03/10/2019	3,41	4,26	0,2	-	72,81	20,23	5,61	4,95
	10/10/2019	3,40	4,35	0,31	-	73,00	20,20	5,75	5,10
	18/10/2019	3,42	4,34	0,25	24,11	73,11	20,21	5,74	asciutto

3.5 Installazione tubazioni per down hole.

Al termine dell'esecuzione dei sondaggi S03-DH e S12-DH i fori sono stati condizionati con tubazioni in PVC DN80 e spessore 3 mm, per l'esecuzione di prove sismiche down-hole,".

Le modalità di installazione sono state le seguenti:

- controllo che i tubi non presentassero lesioni soprattutto nelle parti terminali;
- controllo che le estremità dei tubi non presentassero sbavature tali da compromettere il buon accoppiamento;
- verifica dell'efficienza del tubo per l'iniezione della miscela di cementazione;
- preparazione dei componenti per la realizzazione della miscela di cementazione;

- verifica quota fondo foro.
- inserimento dei tubi pre-assemblati ed al termine bloccarli con una cravatta a bocca foro
- inserimento del secondo spezzone pre-assemblato con giunzione al primo tramite avvitaamento
- ripetizione delle operazioni fino a quota fondo foro.
- cementazione dal basso verso l'alto tramite tubicino di iniezione precedentemente inserito con miscela cementizia acqua cemento bentonite in rapporto 100,30,5 rispettivamente;
- estrazione del rivestimento di perforazione senza l'ausilio della rotazione ed eventuali rabbocchi
- posa in opera di pozzetto di protezione carrabile o fuori terra (funghetto)

3.6 Prelievo di campioni .

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici rimaneggiati, indisturbati e litoidi.

I campioni indisturbati sono stati prelevati con campionatore Shelby; questo è un campionatore a pressione, in acciaio inox, a parete sottile con basso coefficiente di parete. Il campionatore in acciaio quindi, funge anche da contenitore del campione stesso. La base del campionatore è tagliente con un angolo di scarpa di circa 4-15°. Il campionamento avviene tramite infissione a pressione, senza rotazione, in un'unica manovra.

La maggior parte dei campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi di laboratorio.

I campioni indisturbati, una volta estratti, sono stati opportunamente sigillati tramite paraffina sintetica, mentre quelli rimaneggiati e litoidi sono stati conservati in buste in plastica.

Infine tutti i campioni sono stati catalogati con apposita etichetta riportando le seguenti informazioni: sigla identificativa del sondaggio, numero del campione, tipologia di prelievo, profondità del prelievo, committente, data, località, oggetto del lavoro.

Di seguito si riportano le tabelle che riepilogano i campioni prelevati distinti in indisturbati, rimaneggiati e litoidi.

Campioni rimaneggiati (terre)			
	Sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
1	S02-PZ_CR01	2,00	3,00
2	S02-PZ_CR02	8,00	8,50
3	S02-PZ_CR03	20,00	20,50
4	S02-PZ_CR04	27,50	27,80
5	S03-DH_CR01	1,00	1,50
6	S03-DH_CR02	7,50	8,00
7	S03-DH_CR03	8,50	9,00
8	S03-DH_CR04	12,00	12,50
9	S03-DH_CR05	13,30	13,80
10	S03-DH_CR06	15,00	15,40
11	S03-DH_CR07	15,40	16,00
12	S03-DH_CR08	17,00	18,00
13	S03-DH_CR09	20,30	21,00
14	S03-DH_CR10	28,00	29,00
15	S03-DH_CR11	33,40	34,00
16	S04-I_CR01	1,00	2,00
17	S04-I_CR02	6,00	6,50
18	S05-PZ_CR01	1,50	2,00
19	S05-PZ_CR02	4,50	5,00
20	S05-PZ_CR03	13,50	14,00
21	S05-PZ_CR04	18,00	18,50
22	S05bis-I_CR01	2,00	2,50
23	S05bis-I_CR02	5,50	6,00
24	S05bis-I_CR03	8,00	9,00
25	S05bis-I_CR04	11,00	12,00
26	S05ter-PZ_CR01	2,00	2,50
27	S05ter-PZ_CR02	4,10	5,00
28	S05ter-PZ_CR03	12,00	13,00
29	S06-I_CR01	2,00	2,50
30	S06-I_CR02	5,00	5,90
31	S06-I_CR03	22,80	23,50
32	S06-I_CR04	27,50	28,50
33	S07-PZ_CR01	2,00	3,00
34	S07-PZ_CR02	6,00	6,80
35	S07-PZ_CR04	14,00	15,00
36	S07-PZ_CR05	19,00	20,00
37	S07-PZ_CR06	23,00	23,50
38	S07-PZ_CR08	33,40	34,00
39	S07-PZ_CR09	39,00	39,50
40	S07-PZ_CR10	44,00	44,70
41	S07-PZ_CR11	46,00	47,00
42	S08-PZ_CR01	98,00	99,00
43	S08-PZ_CR02	106,40	106,70
44	S09-PZ_CR01	35,00	35,50

Campioni rimaneggiati (terre)			
	Sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
45	S09-PZ_CR02	42,00	42,30
46	S09-PZ_CR03	45,00	45,50
47	S09-PZ_CR04	50,00	51,00
48	S10-PZ_CR01	2,00	2,50
49	S10-PZ_CR02	8,50	9,00
50	S11-PZ_CR01	2,50	3,00
51	S12-DH_CR01	6,00	6,50
52	S12-DH_CR02	10,40	11,00
53	S12-DH_CR03	15,00	15,50
54	S12-DH_CR04	23,30	24,00
55	S12-DH_CR05	29,00	29,70
56	S13-I_CR01	1,50	2,00
57	S13-I_CR02	4,00	4,50
58	S13-I_CR03	13,00	14,00
59	S13-I_CR04	16,00	16,50

Campioni litoidi			
	Sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
1	S04-I_CL01	5,00	6,00
2	S04-I_CL02	8,00	8,60
3	S04-I_CL03	10,00	11,00
4	S04-I_CL04	12,00	12,80
5	S04-I_CL05	17,00	17,90
6	S04-I_CL06	19,00	19,60
7	S04-I_CL07	23,00	23,80
8	S04-I_CL08	28,00	28,80
9	S05-PZ_CL01	23,30	24,00
10	S05-PZ_CL02	25,00	25,50
11	S05-PZ_CL03	28,00	28,50
12	S05bis-I_CL01	18,00	19,00
13	S05ter-PZ_CL01	7,00	8,00
14	S05ter-PZ_CL02	23,00	24,00
15	S06-I_CL01	12,00	12,30
16	S06-I_CL02	14,00	14,60
17	S06-I_CL03	15,00	16,00
18	S06-I_CL04	25,00	25,80
19	S07-PZ_CL01	9,10	10,00
20	S07-PZ_CL02	29,10	29,90
21	S07-PZ_CL03	37,00	38,00
22	S07-PZ_CL04	48,00	49,00
23	S07-PZ_CL05	55,70	56,40
24	S08-PZ_CL01	78,22	78,80
25	S08-PZ_CL02	82,00	82,80
26	S08-PZ_CL03	84,00	85,00

Campioni litoidi			
	Sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
27	S08-PZ_CL04	86,00	86,60
28	S08-PZ_CL05	89,00	90,00
29	S08-PZ_CL06	93,00	94,00
30	S08-PZ_CL07	100,40	100,70
31	S08-PZ_CL08	101,00	101,40
32	S08-PZ_CL09	104,00	104,50
33	S08-PZ_CL10	105,10	105,90
34	S08-PZ_CL11	106,00	106,70
35	S08-PZ_CL12	111,50	112,00
36	S08-PZ_CL13	117,00	118,00
37	S09-PZ_CL01	53,00	54,00
38	S09-PZ_CL02	57,00	58,00
39	S09-PZ_CL03	59,00	60,00
40	S09-PZ_CL04	63,00	64,00
41	S09-PZ_CL05	65,00	66,00
42	S09-PZ_CL06	68,10	69,00
43	S09-PZ_CL07	69,00	69,70
44	S10-PZ_CL01	12,00	12,50
45	S11-PZ_CL01	5,00	5,50
46	S11-PZ_CL02	9,00	9,70
47	S11-PZ_CL03	16,00	16,60
48	S11-PZ_CL04	19,00	19,50
49	S13-I_CL01	19,00	20,00

Campioni indisturbati (terre)			
	Sigla campione	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)
1	S02-PZ_CI01	10,50	11,00
2	S02-PZ_CI02	14,00	14,30
3	S03-DH_CI1	4,65	5,10
4	S05-PZ_CI01	8,20	8,60
5	S05bis-I_CI01	7,20	7,80
6	S10-PZ_CI01	4,50	5,00
7	S10-PZ_CI02	10,00	10,40
		10,40	10,60
8	S12-DH_CI01	19,50	20,00
9	S13-I_CI01	8,60	9,00

3.7 Prove SPT.

Le prove SPT (Standard Penetration Test) sono state eseguite rispettando la normativa vigente (AGI, 1977) e le modalità esecutive del capitolato Anas.

La prova consente di determinare la resistenza di un terreno alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

La modalità esecutiva consiste nell'infissione nel terreno alla base del sondaggio di un campionatore per tre tratti consecutivi, di 150 mm ciascuno, annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione, N1, N2, N3.

Per $N1 = 50$ colpi, e l'avanzamento dell'infissione è inferiore ai 150mm, l'infissione viene sospesa. Per $N1 < 50$ colpi, la prova prosegue ed il campionatore viene infisso per un secondo tratto di 300 mm, contando separatamente il numero di colpi necessari all'avanzamento per la penetrazione dei primi e dei secondi 150 mm (N2 e N3), sino al limite di 100 colpi ($N2 + N3 < 100$ colpi). Se con $N1 + N3 = 100$ colpi non si raggiunge l'avanzamento di 300 mm, l'infissione viene sospesa e la prova si dovrà considerare conclusa.

Sono state eseguite complessivamente n° 18 prove con punta aperta i cui risultati sono riportati nelle colonne stratigrafiche dei singoli sondaggi e nella tabella riepilogativa seguente:

N.	Sigla ID	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	N spt
1	S02-PZ	3,00	3,45	20/23/35	58
2	S02-PZ	9,00	9,45	6/8/10	18
3	S02-PZ	12,5	12,95	7/8/19	27
4	S02-PZ	15,00	15,45	9/31/45	76
5	S03-DH	5,10	5,55	13/32/42	74
6	S05-PZ	5,00	5,45	15/17/22	39
7	S05-PZ	10,00	10,45	21/29/35	64
8	S05-PZ	12,00	12,45	9/11/15	26
9	S05-PZ	15,00	15,45	12/18/21	39
10	S05-PZ	18,00	18,45	19/24/34	58
11	S05bis-I	3,00	3,45	9/12/13	25
12	S10-PZ	10,60	10,73	Rif.(13 cm)	rif.
13	S12-DH	6,50	6,95	9/12/14	26
14	S12-DH	9,50	9,95	12/18/21	39
15	S12-DH	14,00	14,45	20/23/35	58
16	S12-DH	24,40	24,85	19/30/40	70
17	S13-I	5,00	5,45	4/7/9	16
18	S13-I	10,00	10,45	4/5/7	12

Tabella 3.3 SPT eseguite con relativo numero di colpi

La strumentazione impiegata per l'esecuzione delle prove SPT consiste in:

- Tubo campionatore apribile longitudinalmente: D est= 50.8 mm; D int= 35 mm L minima (escluso tagliante principale)>457 mm; L utile = 630 mm;

- Scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm; il campionatore è munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;
- Massa battente di peso 63,5 kg che cade da 75 cm di altezza;
- Aste collegate al campionatore aventi peso per metro lineare 6.5 kg (± 0.5 kg/ml). Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova $< 1^\circ$. La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sganciamento.

3.8 Prove Lugeon.

Le indagini hanno previsto la realizzazione di n. 7 prove di permeabilità Lugeon in fori di sondaggio posizionati lungo lo sviluppo della galleria naturale.

La prova misura l'attitudine di un ammasso roccioso ad essere attraversato da una circolazione idrica appositamente indotta e circoscritta; si esegue iniettando dell'acqua in pressione entro un tratto di foro di sondaggio isolato mediante singolo o doppio otturatore (packer), perforato in materiali litoidi, misurando i volumi assorbiti a diverse pressioni. Preliminarmente si testa il corretto funzionamento dei manometri ed il contalitri viene verificato riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 l.

Le perdite di carico nei tubi di adduzione, in assenza di un circuito indipendente di misura delle pressioni, possono essere valutate in sito con il metodo di un tubo campione posta orizzontalmente in superficie e collegato alla pompa con l'interposizione di un manometro. Si calcola la perdita di carico corrispondente alla portata Q come $P_c = P/L$ dove:

- P_c = perdita di carico per metro lineare (atm/m)
- P = pressione al manometro (atm)
- L = lunghezza del tubo (m)

La prova viene ripetuta per almeno 3 diversi valori della portata Q .

Le prove possono essere eseguite in avanzamento con packer singolo, o in risalita mediante doppio otturatore.

L'otturatore viene calato nel foro dopo avere misurato il livello del fluido nel sondaggio con sondina piezometrica, il tratto di prova deve essere privo di rivestimento e per la perforazione potrà essere usata solo acqua pulita priva di additivi.

Il packer viene espanso sino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza di almeno 5 volte il diametro di perforazione; la lunghezza massima ammissibile è 5 m.

Si procede iniettando acqua nel tratto di prova, eseguendo almeno 3 diversi gradini di pressione crescente e ripetendo gli stessi in fase decrescente, misurando per ciascun gradino le portate assorbite sino a stabilizzazione.

Ciascun gradino di portata (a regime) viene mantenuto per $10 \div 20$ minuti primi dopo il raggiungimento della stabilizzazione degli assorbimenti (regime di equilibrio). La costanza della portata deve essere con trollata ogni 2 minuti e le variazioni non devono essere superiori a 0.1 l/s.

La scelta dei valori dei gradini di pressione dipenderà dal tipo di ammasso roccioso e dagli specifici obiettivi progettuali delle prove, a discrezione della Società e/o della Direzione Lavori. Non si supereranno comunque valori di 1 MPa, e solo nei casi di elevata resistenza meccanica dell'ammasso roccioso. In condizioni diverse, in ammassi rocciosi poco resistenti è preferibile non superare pressioni di 0.3 MPa e in ammassi rocciosi mediamente resistenti pressioni di 0.5 MPa. In condizioni di prova a scarsa profondità, in ammassi rocciosi poco resistenti, si ammettono limiti massimi di pressione non superiori a 0.3 MPa.

Durante la prova si deve mantenere pieno di acqua il foro di sondaggio, per osservare la perfetta tenuta idraulica dell'otturatore, resa evidente dalla assenza di variazioni di livello.

Nel caso di perdite la prova deve essere interrotta e ripresa dopo i necessari interventi correttivi.

Qualora lo stato della roccia fosse tale da non assicurare la tenuta dell'otturatore le prove possono essere eseguite in avanzamento previa cementazione e riperforazione del tratto di foro al disopra della prova, in modo da creare una superficie adatta ad impedire perdite idriche.

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle prove eseguite e dei risultati ottenuti.

RISULTATI PROVE PERMEABILITA'				
Sondaggio	Profondità (m)	ID	Unità	Permeabilità Lugeon (m/s)
S07_PZ	44,6-47,6	lug01	Lequio	<u>2.00E-07</u>
	54,8-57,8	lug02	Lequio	<u>1.80E-06</u>
S08_PZ	79,5-80,5	lug01	S. Agata	<u>1.40E-07</u>
	103-104	lug02	Lequio	<u>8.00E-08</u>
S09_PZ	43,0-46,0	lug01	Lequio	<u>1.80E-07</u>
	51,0-54,0	lug02	Lequio	<u>9.00E-07</u>
	57,0-60,0	lug03	Lequio	<u>1.80E-07</u>

3.9 Prove pressiometriche.

Nel corso del sondaggio S10 posizionato all'imbocco est della galleria naturale sono state eseguite n 2 prove pressiometriche impiegando una sonda tricellulare del tipo Ménard Apageo dotata delle seguenti caratteristiche:

	SONDA	CELLA DI GUARDIA	CELLA CENTRALE
LUNGHEZZA (mm)	600	120 (+/- 20)	210 (+/- 10)
DIAMETRO ESTERNO (mm)	30	58 (+/- 2)	58 (+/- 2)

Le prove sono state eseguite secondo le specifiche di Ménard del 1965 e, per quanto non compreso, secondo le seguenti normative e raccomandazioni:

- Norme ASTM D.471987 Standard Test Methods for Pressuremeter Testing in Soils (1994)
- Le Pressiomètre Ménard. Notice general D.60 (edition 07/77 Centre d'Etudes
- Géotechniques Louis Ménard.
- Méthode d'essai LPC n.15-10 (1988). Essai pressiométrique normal. Norme Française NF 94110 "Essai pressiométrique Ménard".

La prova pressiometrica MPM consiste nella misurazione delle dilatazioni indotte in una cella facente parte di una sonda tricellulare, calata in foro di sondaggio appositamente realizzato con un carotiere da 62mm.

La sonda pressiometrica si compone di una sonda cilindrica ad espansione idraulica costituita da una cella centrale o cella di misurazione ed a due celle di guardia laterali; le misurazioni vengono effettuate sulla cella centrale che, posta in pressione dalla massa d'acqua iniettata all'interno, si espande radialmente. Le celle di guardia, dilatate dal gas, mantengono costante la geometria del sistema, impedendo che la cella centrale abbia deformazioni diverse da quelle radiali.

La prova viene eseguita imponendo incrementi di carico mantenuti costanti per 60" e con letture intermedie a 30", misurando le dilatazioni della cella centrale e, quindi, le corrispondenti deformazioni volumetriche del terreno. Le pressioni vengono lette in superficie da manometri di precisione dotati di scale differenziate, mentre le deformazioni vengono rilevate da un sistema volumetrico. Le pressioni lette al manometro vengono depurate della pressione d'inerzia della sonda.

La taratura di pressione della sonda è effettuata prima delle prove, facendo espandere liberamente la cella pressiometrica e registrando i volumi di equilibrio a 60" per ogni incremento di pressione, fino alla capacità massima tollerata della guaina. Viene eseguita anche una taratura dell'insieme sonda- cavi- centralina sulle variazioni di volume (taratura di volume); le dilatazioni misurate, anche se di entità trascurabile, sono dovute all'elasticità dei tubi e dalla compressibilità del fluido.

La membrana viene dilatata all'interno di un tubo metallico indeformabile aumentando la pressione fino al valore massimo di prova. Essendo le pressioni di circuito lette in superficie in corrispondenza del manometro, ad un'altezza di circa 0.75 m dal p.c., le pressioni al livello della cella differiscono da quelle misurate di una quantità pari all'altezza della colonna d'acqua nei tubi.

Alla pressione letta è stata così sommata la pressione dovuta alla colonna d'acqua (correzione idrostatica). I dati registrati durante la prova sono:

- Pressione letta al manometro;
- Volume iniettato a 30"

- Volume iniettato a 60"

Da questi volumi si risale alla variazione del volume fra la lettura a 30" e la lettura a 60" (V60- V30), a pressione costante (volume di fluage) e la variazione di volume fra le letture a 60" di due gradini di pressione successivi. Queste due variazioni di volume permettono di controllare lo sviluppo della prova e stimare la pressione di fine prova. Il grafico pressione-volume è messo in parallelo con il grafico del volume di fluage.

La forma della curva di fluage, infatti, è indicativa per l'individuazione sia della pressione di ricompressione P_o (e quindi del volume V_o) di inizio del tratto pseudo-elastico della curva (lineare) sia della pressione finale del tratto rettilineo P_f (e quindi del volume V_f).

Individuato il tratto rettilineo della curva, si può stimare il modulo pressiometrico normalizzato di Ménard "Ep", attraverso la relazione:

$$E_p = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot V_m \cdot \Delta P / \Delta V$$

Dove:

V_m = volume medio della cella nel tratto pseudo-elastico;

ΔP = variazione di pressione nel tratto pseudo-elastico;

ΔV = variazione di volume nel tratto pseudo-elastico.

Il volume medio della cella può essere stimato dalla relazione:

$$V_m = V_i + (V_f + V_o) / 2$$

Dove:

V_i = volume iniziale teorico della cella (535 cm³ nel caso del pressimetro utilizzato).

La pressione limite che corrisponde convenzionalmente alla pressione a cui si raggiunge il volume $V_l = V_i + 2V_o$, non è praticamente raggiungibile in fase di prova poiché comporterebbe una rottura totale del terreno con conseguente espansione infinita della sonda. Essa può essere però stimata a partire dal grafico bi logaritmico pressione-variazione relativa di volume ($\Delta v/v$), sul quale in prossimità della pressione limite la curva assume un andamento rettilineo e tende al valore $\Delta v/v = 1$ in corrispondenza della pressione limite P_l ; tale procedura sembra essere la più conservativa.

Per ricavare il valore della "Cu", in accordo con gli studi più accreditati, si sono utilizzate le seguenti relazioni (Amare Jezequel 1972): $C_u = P_l / 5,5$ per $P_l < 0,3 \text{ MPa}$ $C_u = P_l / 10 + 0,025$ per $P_l > 0,3 \text{ MPa}$

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle prove eseguite e dei risultati ottenuti.

RISULTATI PROVE PRESSIONOMETRICHE				
Sondaggio	Profondità (m)	ID	Modulo Young E (MPa)	Coesione non drenata Cu (kPa)
S10_PZ	3,0-4,5	P01	16.7	166
	6,0-7,4	P02	26.9	113

3.10 Prove dilatometriche.

Le indagini hanno previsto la realizzazione di n. 8 prove dilatometriche in corrispondenza di sondaggi S7 – S8 – S9 – S10 distribuiti lungo lo sviluppo della galleria naturale.

La prova dilatometrica misura la deformabilità del materiale attraverso una sonda dilatometrica, inserita in un foro di sondaggio costituita da un cilindro in acciaio avvolto da una membrana rinforzata espandibile.

L'esecuzione della prova avviene applicando, per ciascuna profondità da esaminare, una pressione radiale uniforme sulle pareti del foro di sondaggio: raggiunta la profondità stabilita, viene incrementata la pressione interna del dilatometro provocando un'espansione della membrana.

Per ogni gradino di pressione, si misurano le deformazioni di quest'ultima tramite opportuni trasduttori di spostamento collocati radialmente ogni 120°.

La normativa di riferimento è la seguente:

- Raccomandazioni ISRM "SM for Rock Stress Determination - 7 987.
- ASTM (2001) "D 6635-01 Standard Test Method for
- Performing DMT", Book of Standards Volume 04.09
- CEN-Eurocode 7 (1999) - "Flat dilatometer test (DMT)", Part 3, Section 9

Le prove sono state eseguite con dilatometro flessibile DILAROC TELEMAR-ROCTEST, costituito da centralina di acquisizione D/P BOX RocTest e sonda N° 11D01, di diametro 95 mm.

La sonda e la centralina di misura sono collegate da un cavo elettrico multipolare e da un cavo pneumatico ad alta resistenza. Nella sonda sono alloggiati due trasduttori di pressione e tre trasduttori di spostamento con fondo scala di 25 mm, rispettivamente con risoluzione 0.2 % f.s. e 1/1000 mm e precisione di 0.1 bar e 5/1000 mm.

La sonda ha un diametro di 95 mm, lunghezza del tratto di prova di 1000 mm, con rapporto lunghezza/diametro maggiore di 10.

Per regolare la pressione si utilizza un sistema composto da valvola e rubinetto con capacità 0-200 bar in grado di aumentare, diminuire o mantenere costante la pressione all'interno della sonda.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle prove eseguite e dei risultati ottenuti.

RISULTATI PROVE DILATOMETRICHE			
Sondaggio	Profondità (m)	Ed (Mpa)	Ee (Mpa)
S07_PZ	57,00	918	2334
	51,00	764	1727
S08_PZ	95,00	739	1244
	85,00	15	15
S09_PZ	55,00	663	1125
	47,00	427	873
S10_PZ	17,00	368	510
	12,00	471	1012

3.11 Pozzetti con prove di carico su piastra.

Le indagini hanno previsto la realizzazione di n. 4 pozzetti geognostici su terreno naturale, spinti fino ad una profondità di 2.0 m dal p.c., allo scopo di:

- verificare la stratigrafia degli strati più superficiali;
- eseguire, nei pozzetti Pz01, Pz03 e Pz04, prove di carico su piastra circolare alle profondità di 0.2 m dal p.c.;
- prelievo di campioni rimaneggiati su cui eseguire prove di laboratorio (Proctor e CBR).

Di seguito si riportano le coordinate geografiche Gauss Boaga dei pozzetti realizzati.

N.	Sigla ID	Coordinata G.B. Est	Coordinata G.B. Nord	Quota assoluta p.c. (m s.l.m.)
1	PZ01	1404348,312	4913378,364	469,888
2	PZ02	1404547,439	4913256,371	468,38
3	PZ03	1406825,296	4913552,728	459,812
4	Pz04	1406934,614	4913566,106	455,749

Nei pozzetti sono state realizzate n. 3 prove di carico a doppio ciclo (carico, scarico, carico) con piastra circolare per la determinazione del modulo di deformazione M_d (CNR 146,a), ad una profondità di 0.20 metri da p.c.

La prova di carico a doppio ciclo su piastra circolare ha lo scopo di valutare, mediante la determinazione del modulo di deformazione M_{d1} , la capacità portante dei terreni di sottofondo, degli strati di rilevato e degli strati di fondazione e di base delle pavimentazioni stradali; la prova consiste nel determinare i cedimenti di una piastra circolare di diametro 30 cm posta sul terreno in corrispondenza di crescenti valori di pressione.

Inoltre mediante il 2° ciclo di carico è possibile determinare il modulo M_{d2} ; il rapporto tra i 2 valori, oltre a fornire una stima indicativa della variazione del modulo a seguito della compattazione.

M_{d1}/M_{d2} consente quindi di valutare il grado di costipamento del terreno in esame.

La pressione viene esercitata mediante l'utilizzo del martinetto idraulico e di una adeguata struttura di contrasto, generalmente un rullo compattatore, autocarro, escavatore. Nel caso in esame è stato utilizzato un escavatore.



Figura 3.1 Strumentazione di prova e mezzo di contrasto

Le prove di carico sono state eseguite utilizzando la seguente attrezzatura:

- piastra circolare di diametro 29.85 cm e spessore 2.00 cm, sulla quale sono alloggiati 3 appoggi per le asticelle dei comparatori centesimali, per rilevare i cedimenti; sulla piastra è inoltre montata una scatola cilindrica metallica come supporto del martinetto idraulico;
- triangolo in telaio di alluminio provvisto di tre porta comparatori;
- martinetto idraulico ENERPAC da 232 kN, di sezione 31.12 cm²;
- prolunghe in acciaio per il collegamento del martinetto alla struttura di contrasto;
- pompa oleodinamica manuale, modello Enerpac;
- manometro WIKA, matricola EN 837-1, da 250 bar;
- comparatori centesimali della ditta Borletti, per il rilevamento dei cedimenti.

Il modulo di deformazione Md1 per un dato intervallo di carico DP1 è dato da:

$$DP1 / DS1 * D \text{ in MPa,}$$

dove:

DS1 rappresenta il cedimento in mm riscontrato in corrispondenza dell'intervallo di carico DP1

D è il diametro della piastra

Il cedimento stimato, risulta dalla media di lettura effettuata sui 3 comparatori.

Per l'esecuzione di ciascuna prova, all'interno di ogni pozzetto, ad una profondità di 0.20 metri, il terreno è stato caricato progressivamente con step di 50 kPa fino alla pressione di 200 kPa; si è eseguito poi un ciclo di scarico fino a 50 kPa ed un secondo ciclo di carico fino a 150 kPa.

E' stato ricavato il modulo di deformazione nell' intervallo di carico 50-150kPa per il primo ciclo di carico; è stato inoltre determinato il modulo di deformazione Md2 al secondo ciclo di carico tra 50 e 150 kPa e determinato il grado di compattazione mediante il rapporto Md1/Md2 riferito all'intervallo 50-150 kPa.

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa con i valori di modulo Md1 ed Md2 riscontrati nel corso delle prove e del contenuto d'acqua relativo al campione di terreno prelevato al disotto del punto di prova.

PROVE DI CARICO CON PIASTRA					
RISULTATI PROVE DI CARICO CON PIASTRA (Intervallo 50-150 kPa)					
Sondaggio	Profondità (m)	Md1	Md2	Md1/Md2	W (%)
PZ1	0,2	3,75	20,98	0,18	26,02
PZ3	0,2	5,07	23,5	0,22	22,44
PZ4	0,2	4,41	20,74	0,21	25,47

3.12 Prove di laboratorio geotecnico.

Come anticipato nel corso dei sondaggi si sono prelevati 9 campioni indisturbati, 59 campioni rimaneggiati e 49 campioni lapidei. Ad essi si aggiungono ulteriori 8 campioni prelevati in corrispondenza dei pozzetti esplorativi.

Buona parte di questi campioni sono stati sottoposti a prove di laboratorio fra cui peso di volume, contenuto naturale d'acqua, granulometria, limiti di Atterberg, CBR, contenuto di sostanza organica, compressione semplice, trazione, point load, taglio diretto, triassiale CD, UU, CU.

I certificati delle prove, eseguite direttamente dal laboratorio della Tecno-In, autorizzato ai sensi dell'art 59 del DPR 380/2001 secondo le norme AGI – ASTM ed il capitolato Anas, sono riportati nell'elaborato

02.12_P00_GE00_GEN_RE04_A	Indagini geognostiche campagna anno 2019. Prove di laboratorio
---------------------------	--

Nello stesso documento sono disponibili tabelle riepilogative e sono descritte le metodologie adottate per ciascuna prova.

3.13 Indagini geofisiche.

I sondaggi geognostici sono stati integrati da indagini geofisiche costituite da:

- n° 6 traverse sismiche tomografiche;
- n° 2 prove down hole in foro di sondaggio;
- n° 2 prove sismiche tipo Masw per la determinazione della categoria di suolo di fondazione

Le **traverse sismiche tomografiche** sono ubicate all'imbocco ovest della galleria S Lorenzo dove sono servite per integrare il modello stratigrafico dedotto dai sondaggi ed indagare 3 possibili e diverse soluzioni di tracciato.

La tabella seguente riepiloga per ciascun stendimento la numerazione, lunghezza della stesa e le coordinate geografiche dei vertici.

Codice indagine	Lunghezza base sismica (m)	UTM WGS84 Fuso 32			
		Coordinata inizio profilo - EST	Coordinata inizio profilo - NORD	Coordinata fine profilo - EST	Coordinata fine profilo - NORD
SR1	115	405328,485	4913472,723	405293,901	4913364,549
SR3	200	405366,165	4913323,456	405287,936	4913136,308
SR3	200	405287,893	4913136,365	405225,359	4912953,061
SR4	200	405310,838	4913450,355	405500,133	4913478,047
SR5	200	405340,628	4913253,892	405531,791	4913250,376
SR6	200	405261,036	4913030,599	405450,213	4912998,187

Le elaborazioni restituiscono le dromocrone ottenute dalla lettura dei tempi di arrivo e la pseudosezioni interpretativa in termini di onde P ed onde S.

Le sezioni SR1 ed SR4 sono posizionate in corrispondenza del tracciato sviluppato in sede di progettazione definitiva. Le sezioni SR2 ed SR5 lungo il tracciato sviluppato in sede di progettazione preliminare e le sezioni SR3 ed SR6 lungo una possibile variante posta più a sud.

Le sezioni SR1 ed SR4, tarate con i sondaggi S5ter ed S6, hanno messo in luce un'unità superficiale (Cassano Spinola) avente $V_p < 1.200$ m/s e $V_s < 400$ m/s nei primi 5-6 m maggiormente allentati passante in seguito e fino alla profondità di 10 m da p.c. a $V_p 1.200-2.000$ m/s e $V_s 400-700$ m/s fino a 10 m da p.c. A seguire V_p comprese fra 2.000-2.400 m/s e $V_s 700-850$ m/s attribuibili alle Marne di S. Agata.

Lungo il tracciato di preliminare le sismiche SR2 ed SR5 tarate con il sondaggio S5 ed S3/03 evidenziano un orizzonte superficiale allentato e più lento di spessore 3-6 m con $V_p < 1.300$ m/s e $V_s < 400$ m/s, e un contatto fra Cassano Spinola/ Marne intorno a 20 m da p.c. in corrispondenza di $V_p > 2.100$ m/s e $V_s > 700$ m/s.

Infine lungo la variante sud le traverse SR3 ed SR6 tarate con i sondaggi S5bis ed S13 evidenziano come l'orizzonte superficiale allentato del Cassano Spinola, con spessore 2-5 m, $V_p < 1.300$ m/s e $V_s < 400$ m/s, vada a chiudersi lateralmente in congruenza con le evidenze di superficie. Segue il Cassano Spinola maggiormente consistente con $V_p < 1.900$ m/s e $V_s < 475$ m/s sino a circa 10 m da p.c. cui seguono le marne di S. Agata con $V_p > 2.000$ m/s.

La figura seguente illustra schematicamente l'ubicazione delle indagini (geognostiche e geofisiche) in funzione del tracciato stradale.

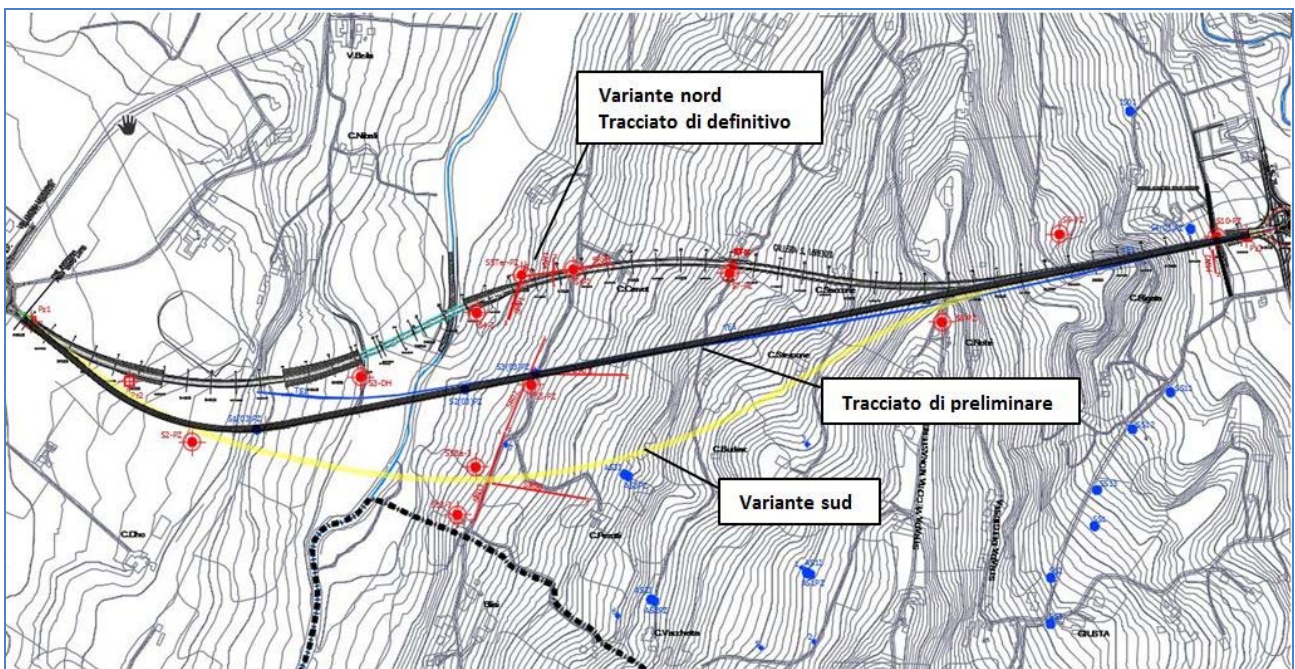


Figura 3.2 Ubicazione indagini. In rosso quelle della campagna 2019. In blu le pregresse. L'immagine permette di visualizzare il tracciato di progetto definitivo, il tracciato di preliminare e una ulteriore e possibile variante più a sud

Per maggiori dettagli sull'ubicazione delle stesse indagini si rimanda alla relazione geologica ed alla documentazione cartografica di riferimento.

Le **prove down hole** vengono eseguite generando delle onde in superficie mediante una bassa battente e misurando i tempi di arrivo mediante geofoni installati in un foro di sondaggio opportunamente rivestito da una tubazione in PVC, ottenendo così un preciso ed attendibile profilo di velocità delle onde sismiche utile per una taratura sismostratigrafica e una precisa identificazione della categoria di suolo di fondazione.

I dati acquisiti sono i tempi di arrivo delle onde P ed S, le velocità di propagazione per ogni metro di profondità e, tramite opportune correlazioni, i moduli elastici dinamici dei terreni attraversati.

Le prove in argomento sono state eseguite in corrispondenza dei sondaggi S03-DH ubicato in corrispondenza della spalla del viadotto Ellero, e del sondaggio S12-DH ubicato in corrispondenza della spalla del ponte Ermena, le cui coordinate sono riportate in tabella.

Codice indagine	Profondità dal p.c. (m)	UTM WGS84 Fuso 32		
		Coordinata EST	Coordinata NORD	Quota (m s.l.m.)
S03-DH	35,00	404992,938	4913246,603	443,826
S12-DH	35,00	405949,848	4914894,079	424,03

I risultati espressi in termini di Vs30, velocità delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m sono:

Sondaggio	Ubicazione	Vs eq Vs30 (m/s)
S3-DH	Viadotto Ellero	499
S12-DH	Viadotto Ermena	391

Tabella 3.4 Risultati prove Down Hole

Infine le prove **Masw** sono state eseguite per la determinazione della categoria di suolo di fondazione dei terreni ricadenti in corrispondenza dei due imbocchi della galleria naturale S Lorenzo. La Masw è una prova che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali in corrispondenza di un allineamento di sensori (geofoni).

Le coordinate degli stendimenti sono le seguenti:

Codice indagine	Lunghezza (m)	UTM WGS84 Fuso 32			
		Coordinata iniziale EST	Coordinata iniziale NORD	Coordinata finale EST	Coordinata finale NORD
MASW-1	46,0	405384,271	4913441,389	405385,422	4913487,567
MASW-2	46,0	406728,853	4913505,752	406734,229	4913458,724

I risultati espressi in termini di Vs30, ovvero di velocità delle onde di taglio nei primi 30m da p.c. sono:

Masw	Ubicazione	Vs eq Vs30 (m/s)
Masw 1	Imbocco W	415
Masw 2	Imbocco E	376

Tabella 3.5 Risultati prove Masw

Per una dettagliata descrizione delle attrezzature, delle metodologie impiegate e dei risultati ottenuti da tutte le indagini geofisiche si rimanda all'elaborato:

02.13_P00_GE00_GEN_RE05_A Indagini geognostiche campagna anno 2019. Geofisica