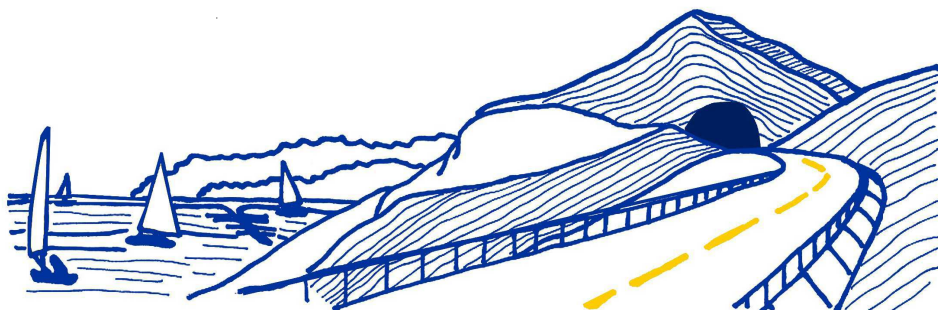


**VARIANTE ALLA S.S.1 AURELIA (AURELIA BIS)  
VIABILITA' DI ACCESSO ALL' HUB PORTUALE DI LA SPEZIA  
INTERCONNESSIONE TRA I CASELLI DELLA A-12 E IL PORTO DI LA SPEZIA  
3° LOTTO TRA FELETTINO E IL RACCORDO AUTOSTRADALE**

**PROGETTO ESECUTIVO DI STRALCIO E COMPLETAMENTO C - 3° TRATTO**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**GE265**



VISTO: IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO

RESPONSABILE  
DELL'INTEGRAZIONE DELLE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

PROGETTISTA SPECIALISTA

IL COORDINATORE DELLA  
SICUREZZA IN FASE DI  
PROGETTAZIONE

Ing. Fabrizio CARDONE

Ing. Alessandro RODINO

Ing. Francesco CARNEVALE

Dott. Domenico TRIMBOLI

**STUDI, INDAGINI E RELAZIONI SPECIALISTICHE**  
**Relazione geotecnica**

CODICE PROGETTO

NOME FILE

REVISIONE

SCALA:

PROGETTO

LIV. PROG. N. PROG.

T00GE00GETRE01\_A

DPGE0265 E 20

CODICE ELAB. T00GE00GETRE01

A

-

C					
B					
A	EMISSIONE	Aprile 2021	F. Carnevale	P. Vendrame	A. Nardi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<b>INDICE</b>	<b>Pag.</b>
1. PREMESSA .....	1
2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'OPERA.....	2
3. INFORMAZIONI DISPONIBILI SULLA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI E DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	6
3.1 Galleria naturale Felettino III.....	6
3.2 Galleria naturale Le Fornaci I.....	14
3.3 Galleria artificiale Le Fornaci II .....	18
3.4 Svincolo Melara .....	28

## 1. Premessa

La presente Relazione viene redatta nell'ambito del Contratto applicativo per la progettazione esecutiva dell'intervento S.S. 1 "Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Aurelia (Aurelia bis), viabilità di accesso all'HUB portuale di La Spezia, interconnessione tra i caselli della A 12 e il porto di La Spezia – 3° lotto tra Felettino ed il raccordo autostradale - Progetto Esecutivo di Stralcio e completamento C – 3° tratto".

Con riferimento al quadro normativo di riferimento progettuale per le strutture, si evidenzia che, per le opere progettate secondo le norme tecniche di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, il D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»", prevede, all'Art. 2 "Ambito di applicazione e disposizioni transitorie", che *"per le opere pubbliche o di pubblica utilità in corso di esecuzione, per i contratti pubblici di lavori già affidati, nonché per i progetti definitivi o esecutivi già affidati prima della data di entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni, si possono continuare ad applicare le previgenti norme tecniche per le costruzioni fino all'ultimazione dei lavori ed al collaudo statico degli stessi"*.

Pertanto, essendo l'attività da svolgere il progetto di completamento di opere già parzialmente realizzate il riferimento normativo di riferimento resteranno le Norme tecniche per le costruzioni» di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

Le indagini geognostiche e le relative risultanze sulle quali si basa l'attuale Progetto di completamento, fanno riferimento al complesso delle indagini programmate, svolte ed analizzate nella sede progettuale costruttiva precedente.

## 2. Inquadramento generale dell'opera

Il tracciato del Lotto III, nel suo complesso, completa la tratta della variante relativa alla creazione della Viabilità di accesso all'Hub portuale di La Spezia.

Ha origine dall'imbocco galleria "Castelletti" (km. 0+047,11) che era in precedenza stata realizzata nell'ambito del Lotto II e termina collegando il Raccordo autostradale

La sezione stradale è tipo C1 con larghezza della piattaforma 10,50 m, larghezza delle corsie (una per senso di marcia) 3,75 m e larghezza delle banchine 1,50 m.

L'asse principale ha uno sviluppo complessivo di 3.933,23 m oltre ai 4 svincoli e si sviluppa per il 64% in galleria.

Immediatamente dopo l'inizio della Variante (Lato ponente), si innesta lo svincolo di "Via del Forno"; il tracciato, dopo aver sovrappassato la valle del Torrente Dorgia con il viadotto "Via del Forno" (L = 120 m), aggira il borgo di "Felettino" dove è prevista la galleria naturale "Pellizzarda" (L=927.54 m), che termina poco prima dello svincolo del "Buonviaggio", tratto nel quale è inserito il viadotto "Buonviaggio" (L=250 m). Nel Tratto successivo è presente la galleria naturale "Felettino I" (L=777.28 m), che termina nella zona dello svincolo di "San Venerio".

Da questo punto inizia la parte di tracciato denominato "Stralcio C" che sarà oggetto del Contratto attuativo da formalizzare.

Nel tratto iniziale è presente il viadotto "San Venerio II" (L=114m) e lo svincolo di San Venerio.

Il tracciato prosegue poi con tre gallerie, intervallate da due brevi tratti in sede naturale: la galleria artificiale "Felettino II" (L=191,30 m), la galleria naturale "Felettino III" (L=245 m) e la galleria naturale "Fornaci I" (L=447.34 m).

Successivamente, nel tratto terminale, sono previste le rampe dello svincolo "Melara" di collegamento col "Raccordo autostradale". Delle rampe che si dipartono dalla galleria artificiale "Fornaci II", due proseguono in galleria naturale: galleria naturale "Fornaci III" (L=86.50 m) e "Fornaci IV" (L=165 m). Successivamente le rampe si innalzano per portarsi alla quota del viadotto autostradale esistente, al quale si vanno ad affiancare con viadotti che realizzano le corsie di entrata ed uscita al Raccordo autostradale.

Lo "Stralcio C" inizia appena prima della spalla Nord del Viadotto "San Severio II", indicativamente alla Progressiva km 2+780 (ex Sez. N. 140), fino a tutto lo Svincolo Melara.

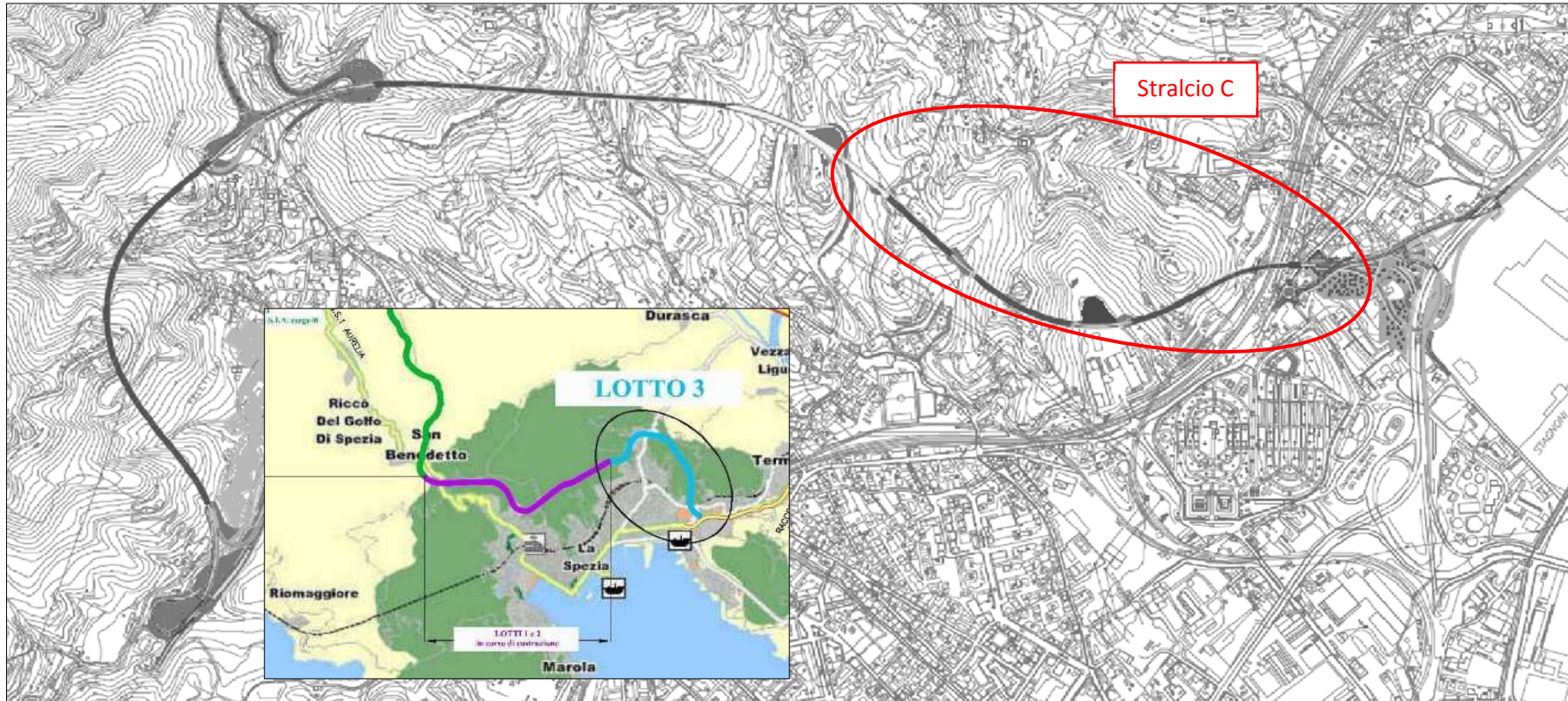


Figura 1 – Schema planimetrico Viabilità di accesso all'Hub portuale di La Spezia - 3° Lotto

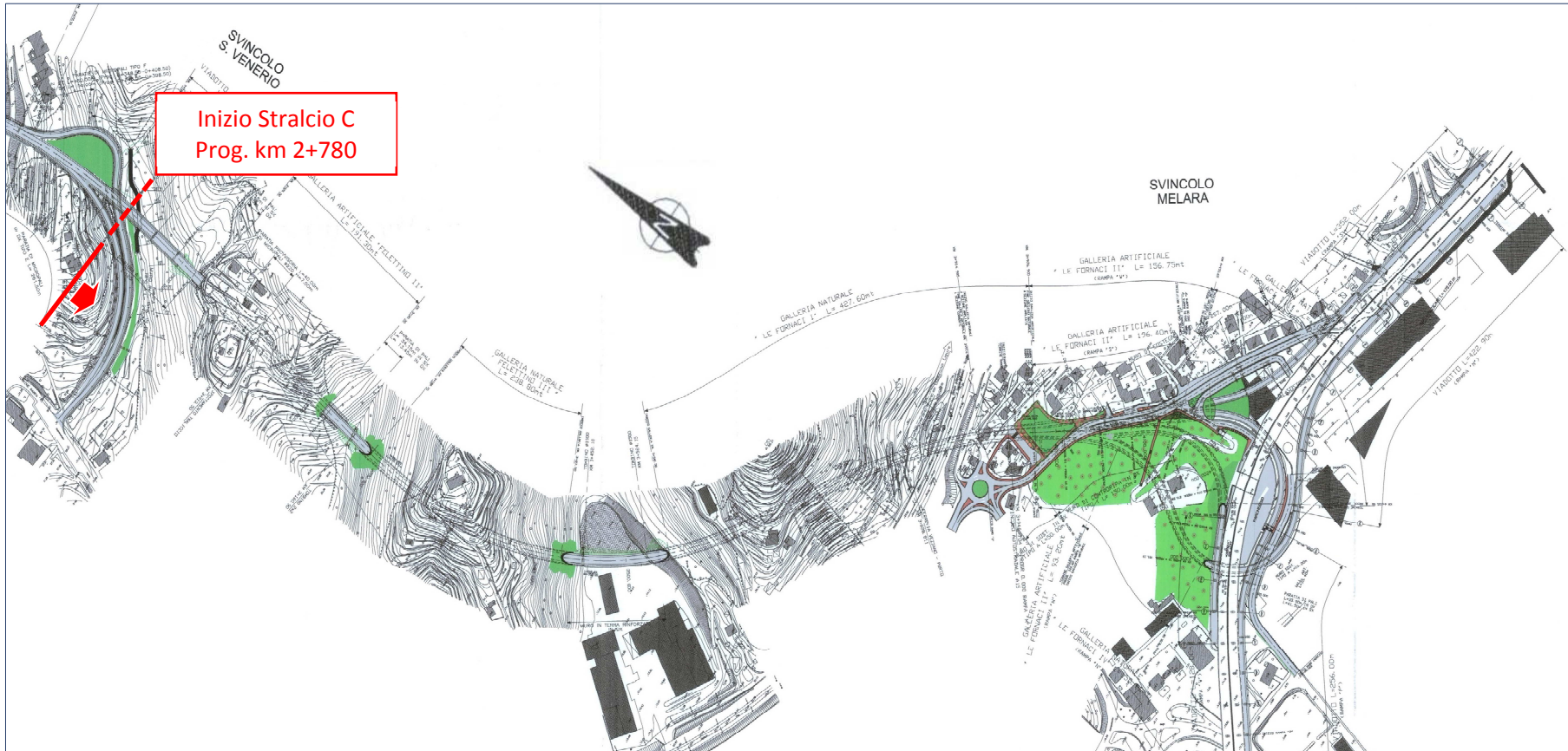
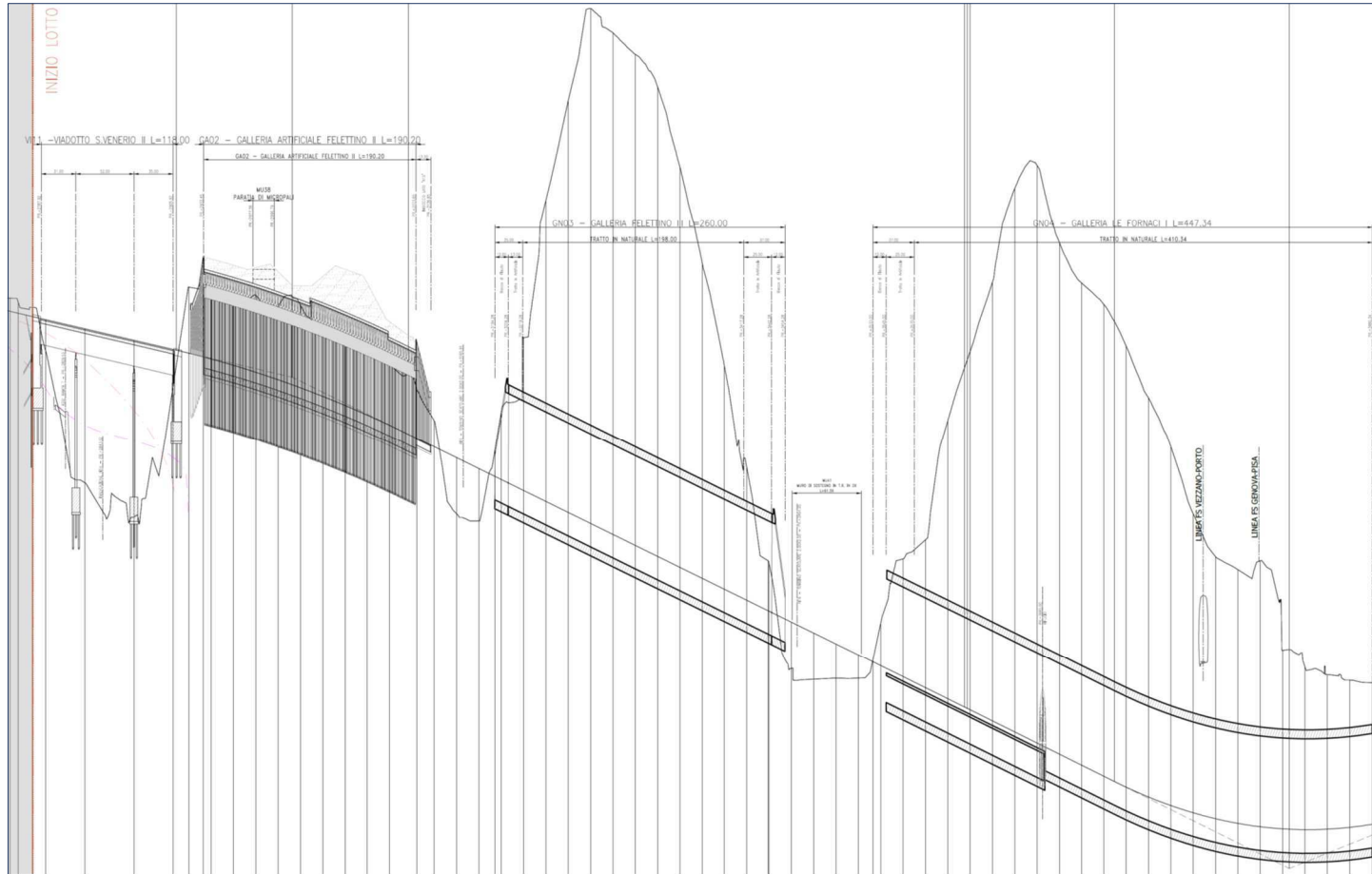


Figura 2 – Schema planimetrico dello Stralcio “C” oggetto del progetto di completamento



**Figura 3 – Profilo longitudinale dello Stralcio “C” oggetto del progetto di completamento**

### **3. Informazioni disponibili sulla caratterizzazione geotecnica dei terreni e degli ammassi rocciosi**

Nel Progetto Esecutivo originario del 2011 sono stati eseguiti sondaggi geognostici accoppiati a profili sismici per ricavare le informazioni stratigrafiche lungo l'asse stradale.

In fase di esecuzione dei lavori sono state redatte delle perizie di variante per tener conto degli scostamenti verificatisi tra le previsioni del Progetto Esecutivo originario e le effettive condizioni di scavo delle opere.

Le perizie di variante superano il Progetto Esecutivo del 2011, in quanto ne riprendono i contenuti e li approfondiscono in funzione delle risultanze di sito.

È alle informazioni contenute nelle perizie di variante del 2017 che ci si riferisce nel presente progetto di completamento specialmente per l'analisi delle gallerie.

Le Varianti hanno visto la realizzazione di indagini integrative e la rivisitazione dei calcoli delle opere e conseguentemente della parametrizzazione geotecnica delle formazioni attraversate.

Si riassumono nel seguito le valutazioni disponibili per le principali opere del tracciato.

#### **3.1 Galleria naturale Felettino III**

Dall'analisi del progetto costruttivo della galleria redatto dalla p.k. 3+417.28 alla p.k. 3+310.28 si deduce come manchino gli ultimi 91 metri per completare lo scavo della galleria.

Come si vede dalla planimetria sotto riportata lo scavo della galleria è fermo alla p.k. 3+312.072 in corrispondenza dell'edificio che risulta lesionato.





**Figura 4** Galleria Naturale Felettino III - Stralcio planimetrico con indicazione in grigio del tratto già scavato

Nelle relazioni di Perizia di Variante si riportano le problematiche di scavo incontrate durante l'esecuzione della galleria, in particolare è risultato come sin dall'imbocco lo scavo è risultato essere molto problematico a causa della presenza di un ammasso estremamente tettonizzato che presenta per tale ragione un aspetto quasi terrigeno. Tali caratteristiche hanno determinato, in fase di scavo, ripetuti rilasci al contorno ed una risposta deformativa molto elevata con cedimenti e convergenze del cavo fino a 30 cm.

La sezione di scavo previste in PE sono state quindi modificate per far fronte alle problematiche su citate.

Lo scavo ha provocato dei cedimenti indotti su un edificio (chiamato convenzionalmente edificio 8) presente sul versante in cui è stata realizzata la galleria.

Nell'ambito degli studi condotti per comprendere le origini dei danni riscontrati

sull'edificio 8 sono state eseguite indagini integrative volte ad approfondire gli aspetti di stabilità del versante.

A valle di tali indagini, l'interpretazione geologica del fenomeno sviluppata da GEOEQUIPE ha portato a sostenere l'attivazione, in fase di scavo della galleria ed in contestuale presenza di precipitazioni eccezionali, di anomali movimenti di versante profondi lungo strato, che poi sono risultati essersi stabilizzati.



**Figura 5 Galleria Naturale Felettino III – Versante sud con indicazione della posizione dell'edificio 8**

La relazione di GEOEQUIPE riporta come la formazione interessata dallo scavo della galleria sia quella del Macigno che risulta costituito da alternanze decimetriche arenacee e pelitiche con prevalenza di quest'ultima litologia.

Sulla base delle indagini sismiche eseguite in fase di PE la formazione del Macigno era stata suddivisa in 3 facies da alterata (M1) ad allentata (M2) a compatta (M3).

Lo scavo della galleria sarebbe dovuto avvenire in corrispondenza della facies M3 la più compatta.

Durante l'esecuzione degli scavi si è constatato che la qualità dell'ammasso risultava peggiore rispetto quella ipotizzata.

Si è rilevata la presenza di ammasso estremamente tettonizzato con conseguenti anomali stati tensionali preesistenti e che presentava, per tale ragione, un aspetto quasi terrigeno. Tali caratteristiche hanno determinato in fase di scavo rilasci al contorno ed una risposta deformativa molto elevata.

Considerata la risposta effettiva dell'ammasso di entità non coerente con quanto ipotizzato in PE, durante la realizzazione dell'opera, è stata condotta una back-analysis delle misure

di convergenza per ricavare gli effettivi parametri geomeccanici.

L'analisi svolta a suo tempo ha messo in luce problemi di punzonamento alla base delle centine responsabili di un maggior carico sulla struttura e quindi dei fenomeni deformativi osservati.

Per recuperare i problemi di stabilità del fronte, nella perizia di variante, sono state modificate le sezioni tipo di scavo appesantendole con l'introduzione di VTR al fronte e utilizzando centine chiuse in arco rovescio con puntone metallico mantenendo la coronella al contorno come da PE.

Si riporta nel seguito il profilo geomeccanico della galleria ricavato dalle relazioni della perizia di variante (el. P01GN03GETFG01A).

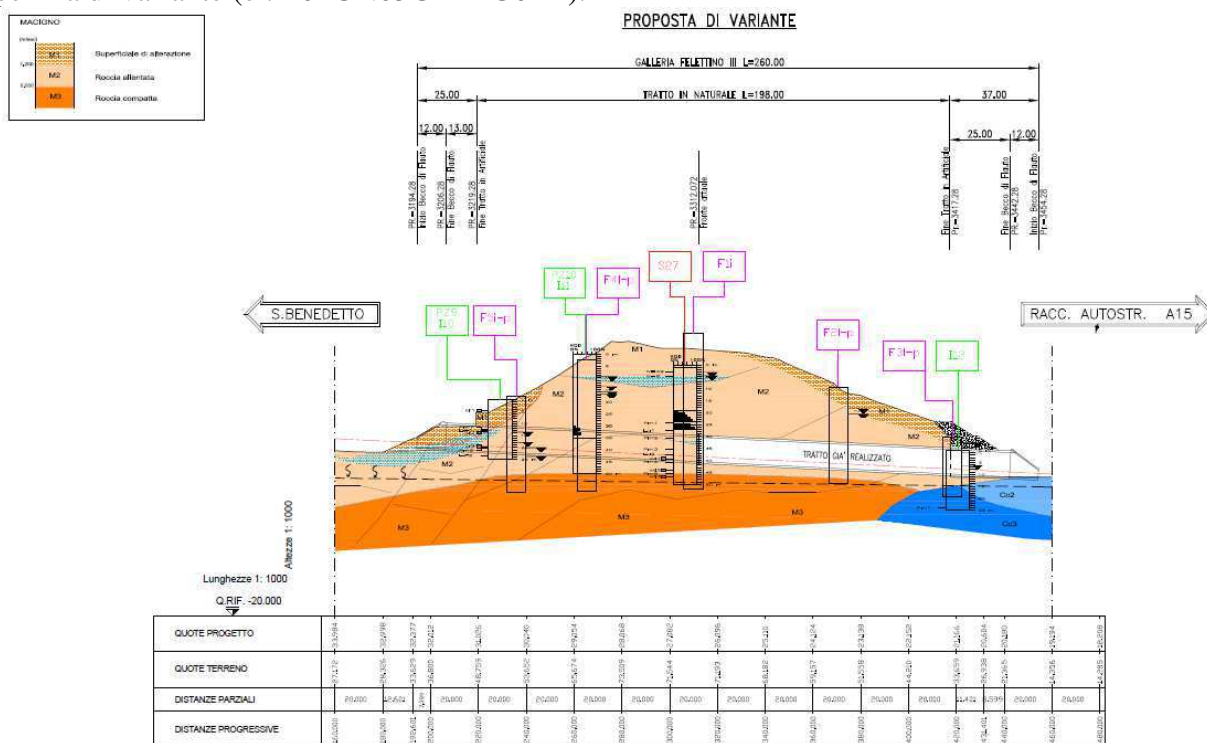


Figura 6 Galleria Naturale Felettino III – Profilo geomeccanico contenuto nella perizia di variante (P01GN03GETFG01A).

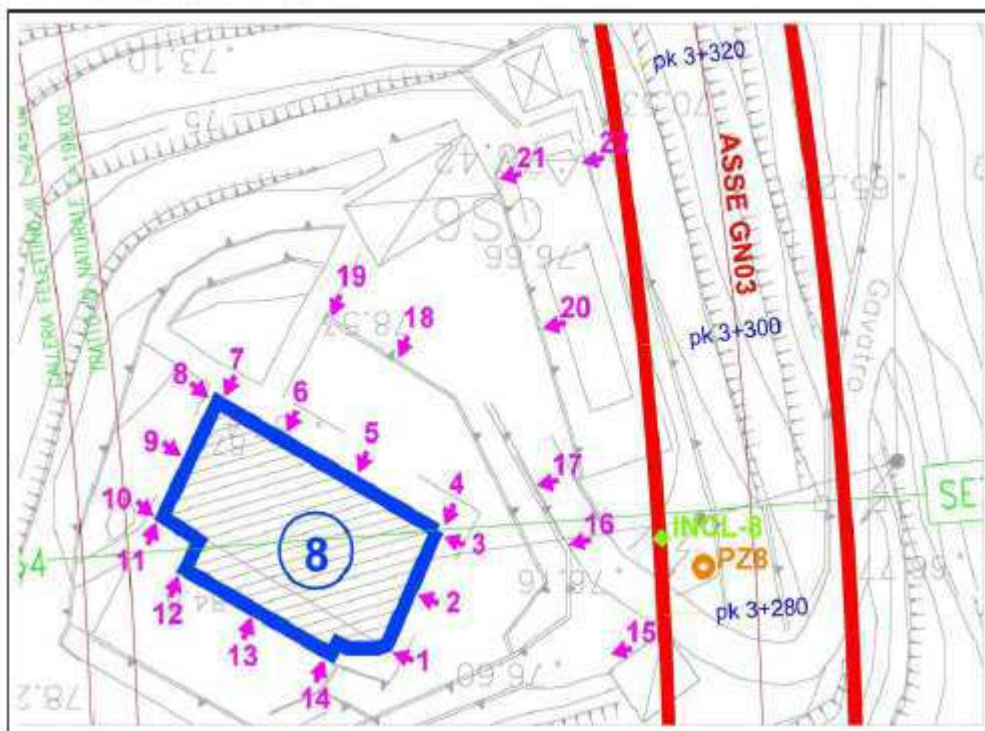
Per renderne agevole il confronto, nel modello geologico per questo progetto di completamento non è stata modificata la suddivisione utilizzata nelle precedenti fasi progettuali delle facies (M1, M2 ed M3) che costituiscono il rilievo entro cui si sviluppa la galleria Felettino III. Tuttavia se ne ridefinisce la loro tipologia/natura:

- M1 (descritta come facies “superficiale di alterazione”): da un punto di vista strettamente geologico non si tratta di una vera e propria facies del Macigno, ma della coltre eluviale che lo ricopre, e comprende anche il corpo di frana quiescente del versante nord, entro cui è posto l’imbocco della galleria;
- M2 (descritta come facies “Roccia allentata”): deriva da un flysch dove le componenti pelitiche-siltose e, in minor misura, marnose, prevalgono su quelle

arenacee. A causa degli eventi deformativi che lo hanno interessato, l'originario ammasso è stato fortemente disturbato, tanto da assumere per gran parte un aspetto caotico, che rende estremamente difficile individuarne il reale assetto giaciturale. Ciò ha favorito i processi di alterazione, molto spinta nelle porzioni a maggior contenuto pelitico o pelitico-marnoso, tanto che la facies ha caratteristiche geotecniche che variano da quelle di un terreno vero e proprio a quelle di una "roccia debole";

- M3 (descritta come facies "Roccia compatta"): è sempre costituita dallo stesso flysch da cui si è originata la facies precedente ma, molto probabilmente, ha un maggior contenuto della componente arenacea, più resistente nei confronti degli stress deformativi, ed ha subito una minore alterazione, quindi ha mantenuto un aspetto che ne consente il riconoscimento della struttura ed un comportamento più litoide.

Sull'edificio 8 sono stati condotti opportuni monitoraggi consistiti nell'installazione di 1 piezometro (Pz8), 1 inclinometro (INCL-8) e diversi capisaldi topografici posti sull'edificio e sulle sue pertinenze (vedasi la figura sotto).



**Figura 7** Galleria Naturale Felettino III – Strumentazione installata per il monitoraggio dell'edificio 8

Sono anche state eseguite indagini integrative tra cui 9 perforazioni con installazione di 5 inclinometri e 4 piezometri eseguiti tra marzo 2015 e aprile 2016, prove di taglio torsionali, misure inclinometriche, prove con martinetti piatti nel rivestimento della galleria.

SOND. N.	DATA ESECUZIONE	PROF. (m)	PERFORAZ.	ATTREZZATO CON
F1i	16/25.02.2016	65	C.C.	INCLINOMETRO
F2i	02/09.03.2016	40	C.C.	INCLINOMETRO
F2p	10/11.03.2016	30	D.N.	PIEZOMETRO T.A.
F3i	18/20.03.2015	25	C.C.	INCLINOMETRO
F3p	20/21.03.2016	15	D.N.	PIEZOMETRO T.A.
F4i	13/23.03.2016	55	C.C.	INCLINOMETRO
F4p	24/30.03.2016	45	D.N.	PIEZOMETRO T.A.
F5i	31.03/03.04.2016	40	C.C.	INCLINOMETRO
F5p	04/05.04.2016	25	D.N.	PIEZOMETRO T.A.

**Figura 8 Galleria Naturale Felettino III – Sondaggi geognostici integrativi eseguiti in fase di perizia di variante**

Il documento P01GN03GEORE01A, redatto sempre in fase di perizia di variante, argomenta come i dissesti registrati nell'edificio possano essere stati collegati più ad un movimento profondo del versante che non a cedimenti indotti dalla galleria.

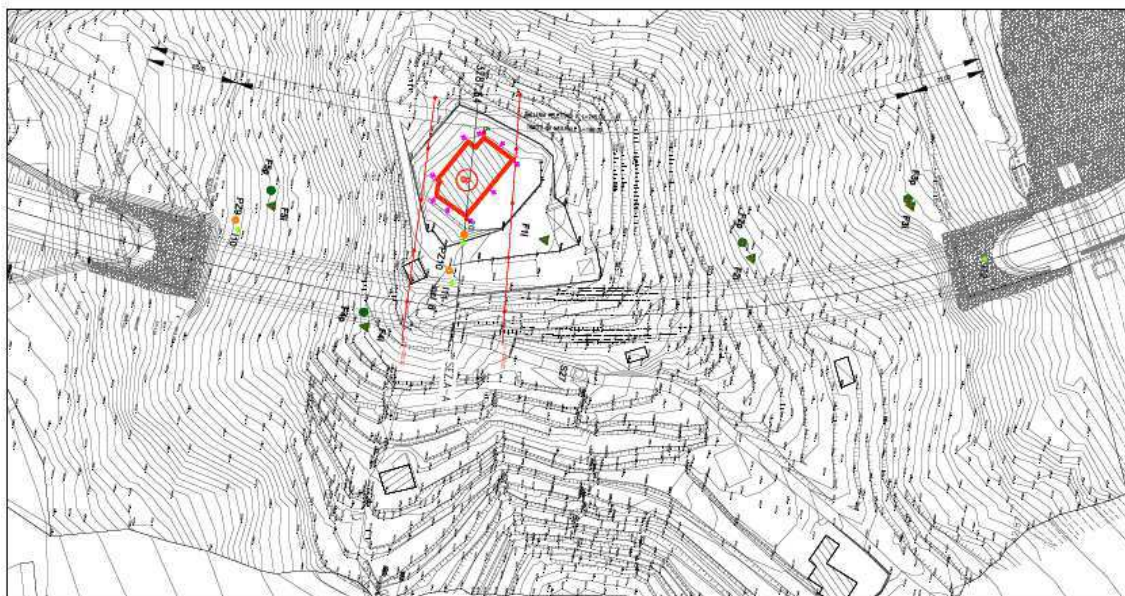
A tal proposito, sempre in detto documento, sono state condotte back-analysis lungo le superfici critiche individuate utilizzando i parametri di resistenza al taglio residui e i massimi livelli di falda misurati, incrementati a seguito delle abbondanti piogge.

I fattori di sicurezza trovati sono risultati essere superiori all'unità e gli inclinometri non hanno registrato ulteriori movimenti fino al momento di emissione del documento (febbraio 2017), non sono disponibili altre letture degli strumenti, quindi, ad oggi non è possibile confermare la stabilizzazione dei movimenti.

Nel documento P01GN03GEORE02A sono riportate le stratigrafie dei sondaggi eseguiti. Nel documento P01GN03GEORE03A sono riportate le misure di monitoraggio inclinometrico e piezometrico eseguite.

Nell'elaborato P01GN03GETDI04A è riportata la planimetria con l'ubicazione delle indagini eseguite che viene sotto riproposta.

**STRALCIO PLANIMETRICO EDIFICIO 8**  
 SCALA 1:500



**Figura 9 Galleria Naturale Felettino III – Planimetria con i sondaggi geognostici integrativi eseguiti in fase di perizia di variante**

Infine nel documento P01GN03STRRE03B del luglio 2017 si riportano i parametri dell'ammasso così come derivate dalle back-analysis condotte.

Dalla back-analysis eseguita sono risultati i seguenti parametri di resistenza e deformabilità:

Parametro	Da Back-analysis
Coesione efficace di picco = $c'_p$ (kPa)	65
Angolo di attrito di picco = $\phi'_p$ (°)	30
Coesione efficace residua = $c'_r$ (kPa)	52
Angolo di attrito residuo = $\phi'_r$ (°)	24
Modulo elastico = E (MPa)	250

**Tabella 1: Parametri geotecnici.**

La relazione di PV P01GN03STRRE03B conclude che gli spostamenti calcolati con i parametri ora richiamati hanno una buona rispondenza con le misure e quindi si possono considerare rappresentativi di quelli effettivamente presenti in sito.

In definitiva, dunque, si considerano validi, per le analisi numeriche del presente progetto di completamento, i seguenti parametri geotecnici:

Facies	$\gamma$	c	$\phi$	E
M1	19÷20 KN/m <sup>3</sup>	0÷10 KPa	25÷28°	-
M2	Valori da back analysis (vd Tabella 1)			

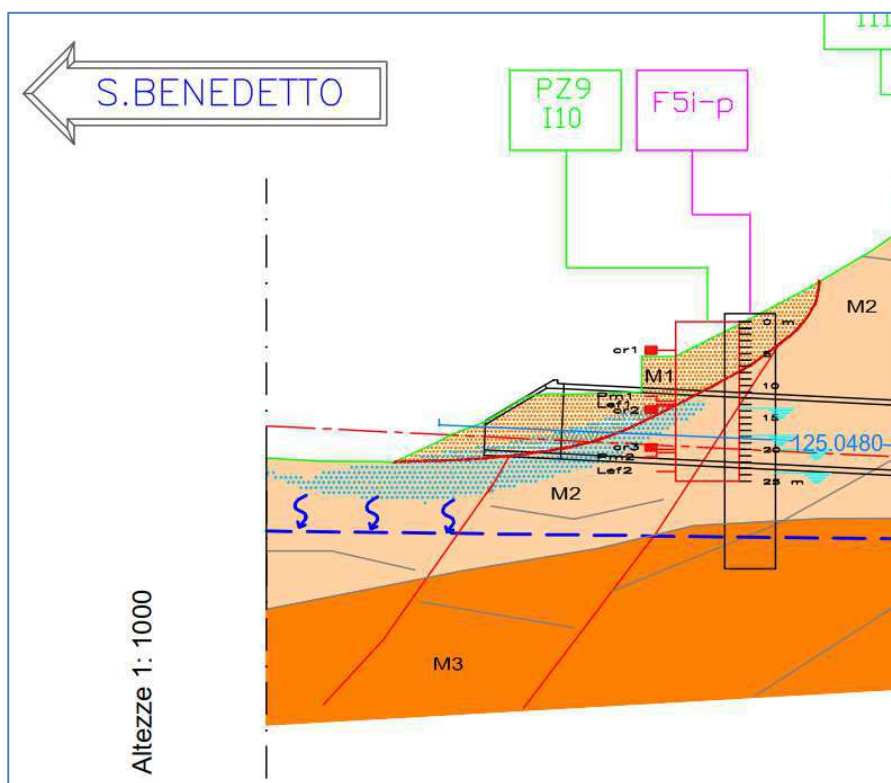
Mentre la facies M2 è stata caratterizzata mediante *back-analysis* basata sulle misure di convergenza eseguite lungo il tratto già realizzato, per la facies M1 i valori sono stati assunti, essendo disponibile unicamente una prova di taglio torsionale sui materiali che la costituiscono ( Sondaggio F5i – campione n.1:  $c_r = 0.70$  kPa,  $\phi_r = 27.3^\circ$ ).

Data la delicatezza del contesto, si ritiene importante che l'avanzamento dello scavo della galleria sia anticipato da un sondaggio esplorativo suborizzontale da eseguirsi a carotaggio continuo.

In considerazione che la ripresa dello scavo avverrà dall'attuale fronte sud in direzione S. Benedetto, e ammontando il tratto da scavare ad una lunghezza di circa 120m, il tratto in completamento potrà essere coperto, a partire appunto dal fronte sud, con la realizzazione di 6 sondaggi di lunghezza pari a 20m ciascuno, predittivi del successivo avanzamento del fronte.

Questa modalità esplorativa dovrebbe inoltre anticipare la caratterizzazione del tratto terminale, in corrispondenza dell'imbocco nord, che risulta inserito all'interno di un corpo di frana quiescente (litofacies M1) il cui dettaglio è mostrato in **Figura 10**. In questo caso il sondaggio esplorativo può contribuire a meglio definire sia lo spessore del corpo della frana quiescente riconosciuta, sia l'effettiva entità delle condizioni idrauliche che risulterebbero gravare in corrispondenza dell'imbocco nord del cavo.

I sondaggi, eseguiti a carotaggio continuo, potranno prevedere il prelievo di n° 6 campioni indisturbati (da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico) e 4 prove pressiometriche di tipo *Menard*.



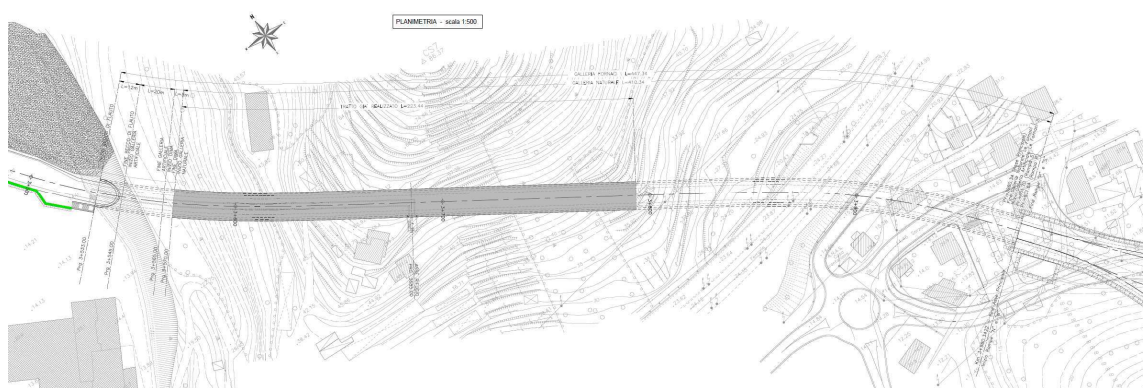
**Figura 10 – Frana quiescente segnalata in corrispondenza dell'imbocco nord.**

Si ritiene altresì di particolare importanza che, in adeguato anticipo sull'inizio lavori, vengano riprese le misure inclinometriche e piezometriche sulle verticali strumentate esistenti. Qualora la strumentazione non risultasse più agibile ne sarà necessaria la reinstallazione in corrispondenza quanto più prossima a quella esistente.

### 3.2 Galleria naturale Le Fornaci I

Dall'analisi del progetto costruttivo della galleria redatto dalla p.k 3570 a p.k. 3793 si deduce come manchino gli ultimi 187 metri per completare lo scavo della galleria.

Dalla planimetria sotto riportata si evince la parte realizzata, indicata in grigio, e quella mancante coerentemente con il progetto costruttivo di cui sopra.



**Figura 11 Galleria Naturale Le Fornaci I- Stralcio planimetrico con indicazione in grigio del tratto già scavato**

Come risulta dagli atti, le operazioni di scavo sono iniziate il 22/06/12 e sono state poi interrotte in data 23/10/12 alla Pk 3+648 con 78 m scavati. Le operazioni sono poi riprese in data 16/01/13 arrivando a scavare fino al Pk 3+702 (26/04/13). Successivamente l'Appaltatore (Coestra S.p.A.) ha interrotto le lavorazioni che furono riprese solamente nel 2015 con il subentro dell'impresa di costruzioni TOTO S.p.A..

Lo scavo è poi proseguito in un ammasso roccioso (Verrucano) nella facies di qualità geomeccanica discreta, fino alla Pk 3+793.44.

Raggiunta predetta progressiva la galleria è entrata nella zona di interferenza con la soprastante Galleria Ferroviaria "Vorticosa" e i lavori di avanzamento sono stati formalmente sospesi (18/01/16) per l'effettuazione di indagini mirate a definire nel dettaglio le condizioni dell'ammasso roccioso nel successivo tratto di interferenza con le infrastrutture ferroviarie, e per analizzare le condizioni attuali delle strutture di rivestimento della galleria ferroviaria.

Resta da scavare il tratto tra il fronte attuale, posto alla progressiva km 3+793.44, e l'imbocco Sud Pk 3+3980,34, tratto ove sussistono le criticità costruttive per:

1. il sottoattraversamento della galleria ferroviaria "Vorticosa", della linea ferroviaria destinata al traffico portuale;
2. il sottoattraversamento della Linea ferroviaria nazionale Genova-Pisa;
3. il sottoattraversamento della S.S. 1 Via Aurelia (Via Sarzana);



4. l'estrema vicinanza di alcune case di civile abitazione nel tratto terminale della galleria naturale e lateralmente alla successiva galleria artificiale.

Nel seguito vengono riassunte le indagini geognostiche effettuate nel passato, sia successivamente alla sospensione dello scavo della Galleria e sia nelle fasi di progettazione precedenti (PD, PE, PVT).

Per problematiche ambientali e di accessibilità dei siti, nel passato molte indagini erano state eseguite necessariamente fuori asse. Anche per tale motivo l'esecuzione dei sondaggi in avanzamento dal fronte di scavo ha fornito indicazioni estremamente utili.

L'attuale Progetto di completamento prende come riferimento le indagini geognostiche e in generale tutti gli studi di carattere geologico e geotecnico, forniti dalla Stazione Appaltante, svolti nelle sedi progettuali precedenti ed in particolare in sede di redazione del Progetto Costruttivo.

I sondaggi geognostici integrativi eseguiti sia dal fronte di scavo della galleria Fornaci I che dalla superficie, in zone di pertinenza della RFI S.p.A. (rilevato ferroviario) sono stati i seguenti:

1. S1h (L=84m): sondaggio a carotaggio continuo sub orizzontale, eseguito dal fronte della galleria Fornaci 1, fermo alla Pk 3+793 ca., con lo scopo di indagare prima di tutto i terreni posti al di sotto dell'arco rovescio della galleria "Vorticosa" e prolungato fino al di sotto del rilevato ferroviario.
2. S2 (L=27m ca. alla Pk 3+899): sondaggio a carotaggio continuo verticale eseguito allo scopo di indagare i terreni al di sotto del rilevato ferroviario lato sud.
3. S3 (L=23m ca. alla Pk 3+857): sondaggio a carotaggio continuo verticale eseguito allo scopo di indagare i terreni al di sotto del rilevato ferroviario lato nord.
4. E ed F (L=25m alla Pk 3+847): sondaggi eseguiti nell'ambito di uno specifico campo prova di iniezioni nella zona compresa tra la galleria "Vorticosa" ed il rilevato ferroviario lato nord.

Nel corso di tali sondaggi sono state eseguite prove in sito (pressiometriche e di permeabilità) e prelievo di campioni per prove di laboratorio, e sono stati installati piezometri a tubo aperto (sondaggi S2 e S3).

I principali elementi geologico-geotecnico che si rilevano sono i seguenti:

1. la galleria "Vorticosa" è realizzata all'interno della formazione dei Calcari cavernosi in facies detritica (CC1) e ciò è stato confermato anche dai documenti di progetto della stessa reperi. Lo scavo della galleria Fornaci I al di sotto della galleria "Vorticosa" verrà realizzato all'interno della formazione dei Calcari Cavernosi in facies allentata (CC2), come risulta essere confermato anche dagli ultimi rilievi del fronte eseguiti e dai sondaggi E ed F. Il setto tra le due gallerie si trova nella zona di passaggio tra CC1 e CC2;
2. Alla base del rilevato ferroviario è presente un corpo limoso sabbioso argilloso di spessore pari a 10m ca., che interessa la zona di calotta della galleria. Al di sotto di tale strato sono presenti depositi detritici ghiaiosi e sabbiosi in abbondante matrice

limosa argillosa. La composizione dei clasti di tali depositi varia da calcarei (sondaggio S3) ad arenacei quarzosi (sondaggio S2).

Lungo il tracciato della galleria “Fornaci I”, nella zona interessata dall’interferenze ferroviarie, altresì erano stati eseguiti i seguenti sondaggi:

- Campagna indagini 2000: n. 1 sondaggi geognostici

Sondaggio	Lunghezza (m)	Note	Attrezzatura
S29	31.5	Carotaggio continuo Fuori asse	Piezometro Casagrande - Cella a 31 m

- Campagna indagini 2007: n. 4 sondaggi geognostici

Sondaggio	Lunghezza (m)	Note	Attrezzatura
I15	30	Distruzione nucleo	Inclinometro
I16	35	Distruzione nucleo	Inclinometro
PZ13	30	Carotaggio continuo	Piezometro Casagrande – Cella a 30 m
PZ14	35	Carotaggio continuo	Piezometro Casagrande – Cella a 35 m

- Campagna indagini 2010: n. 2 sondaggi geognostici

Sondaggio	Lunghezza (m)	Note	Attrezzatura
505	40	Carotaggio continuo Fuori asse	Tubo per Down Hole 40 m
609	40	Carotaggio continuo Fuori asse	Tubo per Down Hole 38 m

- Campagna indagini 2016: n. 3 sondaggi geognostici

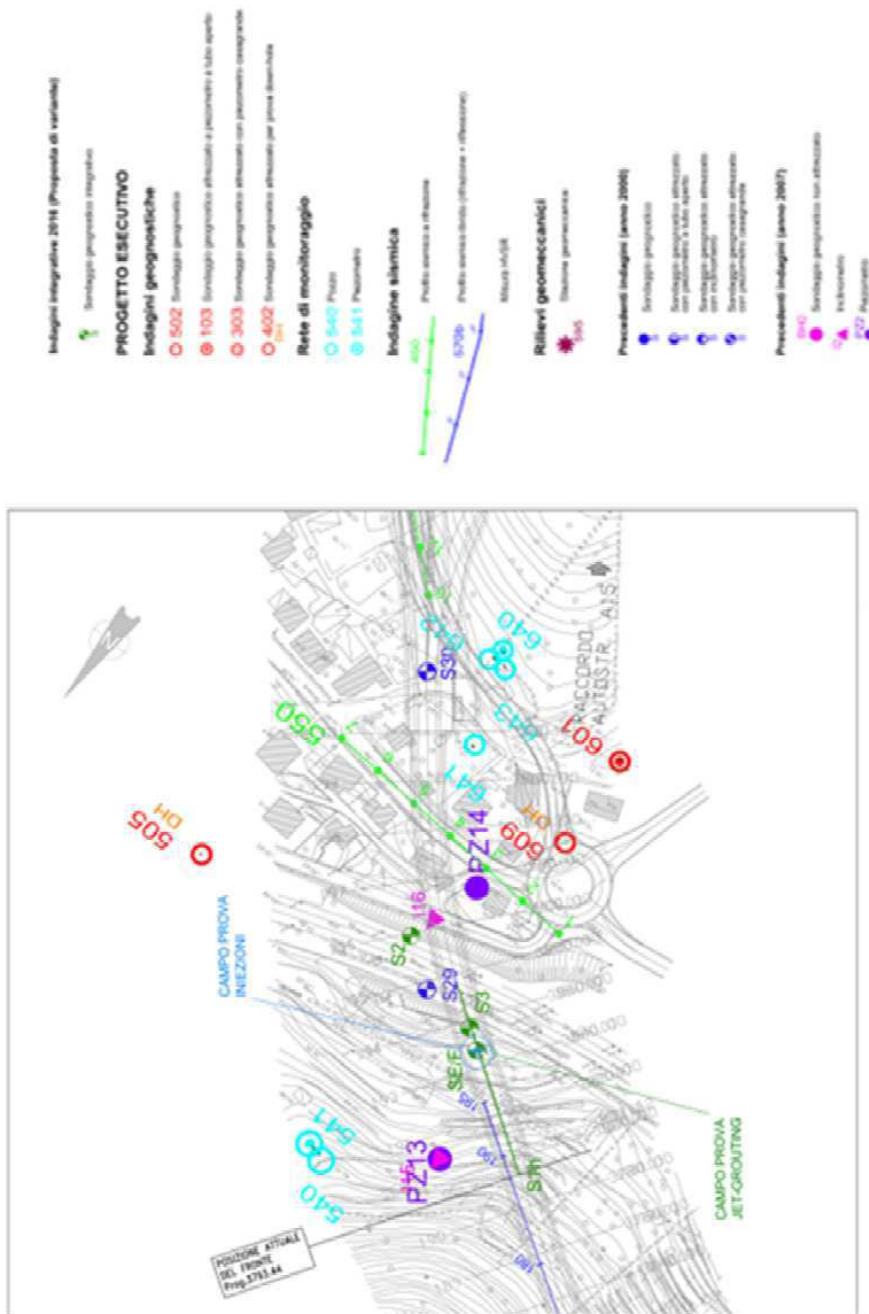
Sondaggio	Lunghezza (m)	Note	Prove	Attrezzatura
S1H	84	Carotaggio continuo sub-orizzontale da galleria 3+793 (10% ca.)	Lab.	
S2	27	Carotaggio continuo da rilevato Fs	Sito Lab.	Piez. T.A. (7-27m finestrato)
S3	23	Carotaggio continuo direzione avanzamento galleria prima rilevato Fs	Sito Lab.	Piez. T.A. (3-23m finestrato)

Lo scavo nella galleria Fornaci I al di sotto della galleria “Vorticosa” avviene completamente nella formazione del Calcere Cavernoso – Allentato (CC2).

In sostanza, la zona interessata dallo scavo della galleria Fornaci I, nel tratto di sottoattraversamento del rilevato ferroviario, intercetta per tutta l’altezza uno strato di ghiaie e sabbie limose, giacente sotto uno strato di limi argillosi sabbiosi, che interessano la zona di calotta, sovrastato dal rilevato ferroviario.

La falda è a circa 4.3m al di sopra del piano dei centri della galleria e si posiziona poco al

di sotto del passaggio tra strato di limi e quello di detriti, all'interno dei quali lo scavo è previsto quindi sottofalda.



**Figura 12** Galleria Naturale Le Fornaci I- Stralcio planimetrico con indicazione delle indagini eseguite

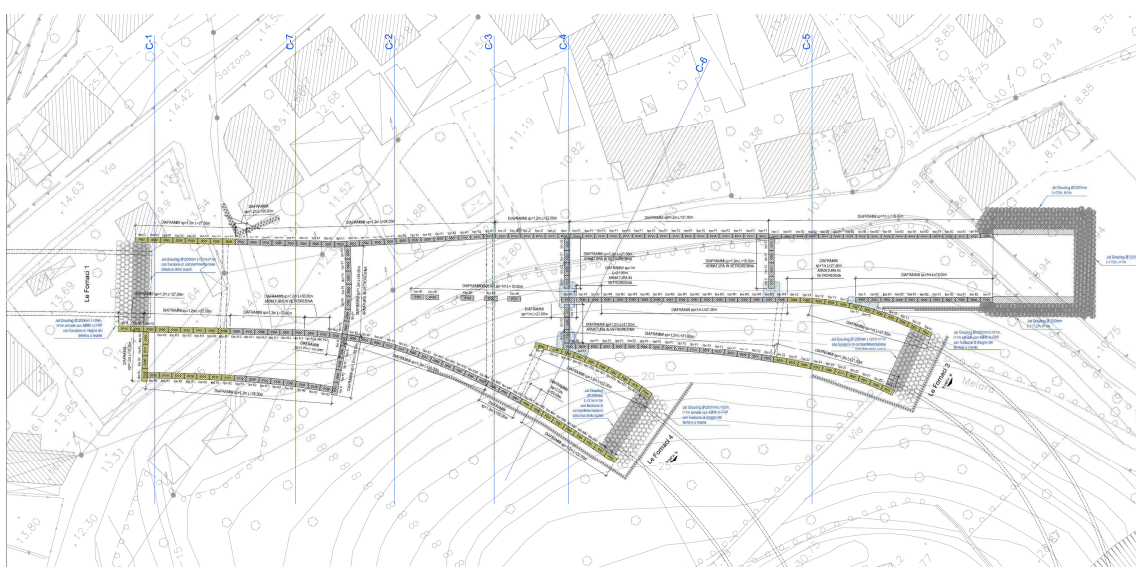
I parametri geotecnici adottati nei calcoli della galleria, che vengono qui riconfermati, sono i seguenti:

FORMAZIONE	$\gamma$	$c'$	$\Phi$	E	$\nu$
	KN/m <sup>3</sup>	Kpa	°	MPA	[-]
LIMI ARGILLOSI SABBIOSI	20	10	25	50	0.3
CALCARE CAVERNOSO (SUP)	21	15	35	120	0.3
CALCARE CAVERNOSO (INF)	21	100	35	400	0.3

### 3.3 Galleria artificiale Le Fornaci II

Dai dati disponibili, risulta che sono stati già realizzati l'80% dei diaframmi che costituiscono la galleria artificiale.

Da questa galleria partono poi le gallerie Fornaci IV e Fornaci III che costituiscono lo svincolo Melara.



**Figura 13** Galleria artificiale Le Fornaci II- Planimetria

Gli scavi risultano essere sotto falda e sono stati previsti tamponi di jetgrouting per stabilizzare il fondo scavo in fase di esecuzione dei lavori.

Di seguito vengono elencati i sondaggi a carotaggio continuo eseguiti in “Zona Melara” in fase di progetto esecutivo (Tabella 2). Durante l'esecuzione di tali prove sono stati prelevati campioni indisturbati per le analisi di laboratorio e sono state eseguite alcune prove SPT (*Standard Penetration Test*) sui vari litotipi incontrati. I risultati di queste prove sono riportati nei paragrafi successivi.

**❖ SVINCOLO MELARA**

Sond. n°	Data	Localizzazione	Quota presunta s.l.m.	Sonda utilizzata	Perforazione m.
601	27-30/09	44°07' 00" N 9°51' 43" E	15.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	22.5
602	01-05/10	44°06' 57" N 9°51' 53" E	9.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	26.0
603	25-30/11	44°06' 52" N 9°51' 51" E	3.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	30.0
604	11-13/10	44°06' 55" N 9°52' 03" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
605	14-15/10	44°06' 52" N 9°52' 13" E	8.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	25.0
606	15-20/10	44°06' 55" N 9°51' 50" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
607	07-11/10	44°06' 54" N 9°51' 57" E	6.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
608	19-24/11	44°06' 50" N 9°51' 42" E	8.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
609	02-05/11	44°07' 02" N 9°51' 43" E	16.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	40.0
610	27-29/10	44°06' 57" N 9°51' 49" E	17.0	COMACCHIO MCT 450 P gommata	25.0

Tabella 2 – Elenco sondaggi Zona Melara, fase PE

In particolare, la ricostruzione stratigrafica, in corrispondenza della galleria Fornaci II, si è avvalsa dei soli sondaggi 602 e 610 che risultano quelli più prossimi all'opera.

La campagna indagini ha successivamente previsto, in fase di Perizia Integrativa, l'esecuzione di ulteriori 8 sondaggi a carotaggio continuo e di uno a distruzione di nucleo (SA) così come indicato in Tabella 3.

Sondaggio	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	Piezometro	n. Prove SPT	n. Prove permeabilità Lefranc	n. Prove permeabilità Lugeon
S1	30.0	1	CC [15 m]	5	5	-
S2	35.0	1	CC [10 m]	4	3	-

Sondaggio	Profondità [m]	n. campioni indisturbati	Piezometro	n. Prove SPT	n. Prove permeabilità Lefranc	n. Prove permeabilità Lugeon
S4	30.0	2	CC [23.5 m]	4	5	-
S5	25.0	2	CC [15 m]	6	3	-
S6	35.0	1	TA [20-30 m]	-	3	-
S7	35.0	-	CC [15 m]	5	3	-
S8	40.0	1	TA [10-14 m]	5	6	-
S9	36.0	1	CC [35 m]	-	4	1
SA	35.0	-	TA [25-35 m]	-	2	-
CC [cella Casagrande] [profondità di installazione]						
TA [tratto filtrante tubo aperto]						

Tabella 3 – Elenco sondaggi campagna indagini integrativa – Fase Perizia Integrativa

Durante le fasi di perforazione sono state eseguite alcune prove SPT (*Standard Penetration Test*) sia nella coltre superficiale che nei termini appartenenti alla formazione del Verrucano in profondità. Di seguito vengono riportati i risultati delle prove sotto forma di tabella per i sondaggi eseguiti in fase di progetto esecutivo e sotto forma di grafico per i sondaggi della campagna integrativa.

Bisogna ricordare inoltre come la suddivisione delle unità geotecniche in fase di progetto esecutivo e di perizia, a cui fanno riferimento le seguenti tabelle e grafici, fosse leggermente diversa, ma comunque coerente e confrontabile, con quella attualmente adottata.

Sondaggio n°	505	505	505	505
S.P.T. n°	1	2	3	4
Profondità da m (p.c.)	4,00	9,00	12,50	14,70
Litotipo	V2	V2	V2	V3

Sondaggio n°	505	505	505	505
N° colpi 0 – 15 cm	28	R(6 cm)	R(10 cm)	R(5 cm)
N° colpi 15 – 30 cm	R(11 cm)			
N° colpi 30 – 45 cm	/			
N <sub>SPT</sub>	Rif	Rif	Rif	Rif

Tabella 4 – Prove SPT sondaggi P.E.

Sondaggio n°	601	601	605
S.P.T. n°	1	2	1
Profondità da m (p.c.)	5,0	8,0	10,0
Litotipo	V2	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	16	15	25
N° colpi 15 – 30 cm	21	17	R(4 cm)
N° colpi 30 – 45 cm	27	38	
N <sub>SPT</sub>	48	55	Rif

Tabella 5 - Prove SPT sondaggi P.E

	606	606	606	607	607
S.P.T. n°	1	2	4	1	2
Profondità da m (p.c.)	4,50	7,50	17,70	7,00	11,30
Litotipo	V2	V3	V3	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	23	21	46	26	43
N° colpi 15 – 30 cm	36	43	R(7 cm)	29	R(11 cm)
N° colpi 30 – 45 cm	44	R(11 cm)		31	
N <sub>SPT</sub>	80	Rif	Rif	60	Rif

Tabella 6 - Prove SPT sondaggi P.E.

Sondaggio n°	609	609	609	610	610
S.P.T. n°	1	2	4	1	2
Profondità da m (p.c.)	4,00	6,50	18,00	3,00	7,30
Litotipo	Alluv.	V1	V3	V2	V2
N° colpi 0 – 15 cm	5	6	41	25	31
N° colpi 15 – 30 cm	8	7	R(11 cm)	39	46
N° colpi 30 – 45 cm	9	13		46	R(9 cm)
N <sub>SPT</sub>	17	20	Rif	85	Rif

Tabella 7 - Prove SPT sondaggi P.E.

L'unità del Verrucano alterato ha mostrato un valore medio di circa 40 colpi (con alcune prove che sono però andate a rifiuto). Questo è dovuto all'estrema eterogeneità dei terreni indagati e alla presenza di lenti di ghiaie o materiale roccioso alterato.

Per quanto riguarda l'unità di substrato più compatta V3, le prove SPT sono andate a rifiuto.

L'unica prova eseguita all'interno delle coltri superficiali ha indicato un valore N di 17

colpi.

Passando alle indagini integrative recenti, il grafico che segue mostra come i valori  $N_{SPT}$  per i materiali più superficiali, indicati come coltri superficiali (A1), siano contenuti in un intervallo compreso tra 20 e 35 colpi (con un unico risultato inferiore a 5 colpi).

L'unità Verrucana (considerata nei suoi termini V2 e V3a) mostra una maggior concentrazione di valori tra 40 e 60 colpi, ma sempre a causa dell'elevato grado di eterogeneità si possono notare valori più bassi (inferiori a 30 colpi), così come prove che sono giunte a rifiuto prima del completamento.

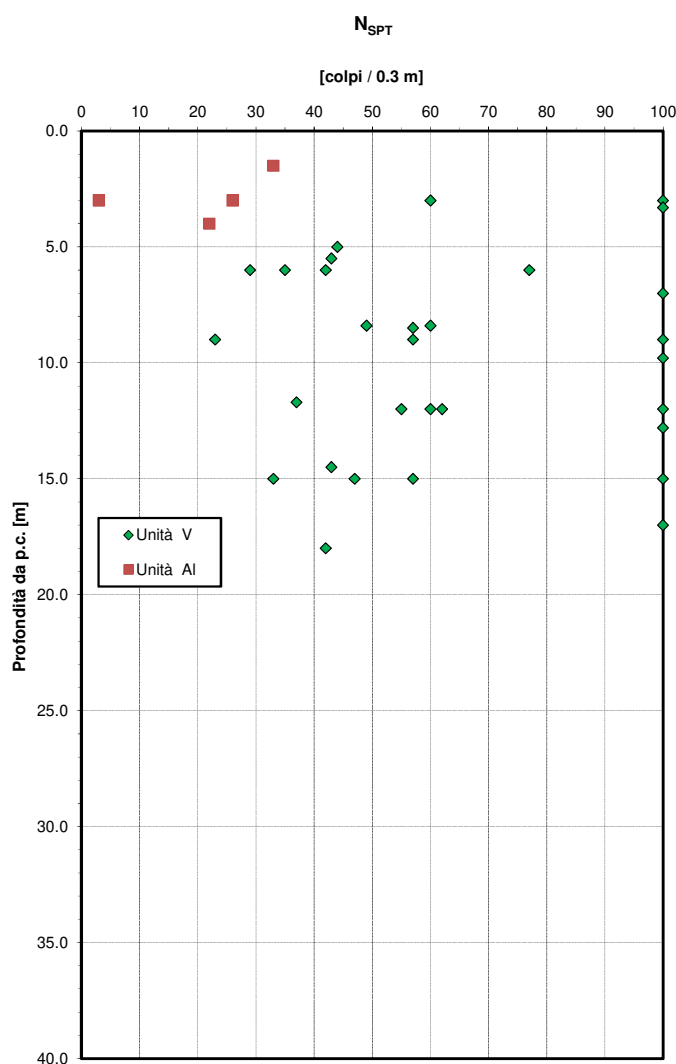


Figura 14 Grafico  $N_{SPT}$  sondaggi – Fase integrativa. L'unità A1 rappresenta indicativamente la coltre superficiale attualmente indicata con V1

Le prove di laboratorio sono state eseguite per le indagini inerenti al Progetto Esecutivo e ne vengono di seguito riportati i risultati sotto forma tabellare per i sondaggi eseguiti nell'area dello svincolo di Melara.



CAMPIONE	S60R1	S60R2	S60R3	S60R4	S602R1	S603C2	S606R1	S606Cr4	S607R2	S609C1	S609C2	S610R1	S610R2
Profondità metri	6.7 - 7.0	14.4 - 14.7	23.1 - 23.4	27.0 - 27.4	6.8 - 7.0	8.5 - 9.0	6.0 - 6.2	20.8 - 21.0	24.8 - 25.0	3.5 - 4.0	6.0 - 6.5	11.1 - 11.4	16.2 - 16.5
<b>Prova E.L.L.</b>													
Cu (tPa)	56.6	97.2	36.9	196.1	50.7	15.9	53.9	118.0	50.0	30.2	127.9	125.5	38.4
Eh (tPa)	14400	4161	1589	13891	2653	1976	1658	7651	2368	851	4435	4398	1957
<b>Prova di taglio</b>													
C (tPa)	9.9	12.8	1.8	4.4	2.5	17.1	9.2	11.4		17.3	46.3	38.4	6.2
φ (°)	38.2	32.2	29.3	33.9	34.9	27.2	30.2	31.0		28.0	31.6	29.0	32.0
<b>Parametri fisici</b>													
Peso volume naturale (kN/m³)	18.4	19.9	22.0	22.2	21.9	21.2	22.0	21.1	21.7	19.1	18.4 - 19.9	19.0 - 22.3	22.8
Peso volume secco (kN/m³)	16.1	16.9	19.6	19.6	18.8	19.2	19.1	18.6	19.2	15.0	13.9 - 15.8	16.7 - 19.5	21.0
Peso specifico dei grani (kN/m³)	27.17			27.22			27.07	26.79	27.13	27.17	27.34	27.06	26.33
Indice dei vuoti	0.708			0.680			0.420	0.442	0.409	0.807	0.735	0.473	0.256
Grado di saturazione (%)	58.70			72.64			106.98	84.96	93.92	95.61	100.49	80.44	96.07
<b>Limiti di Atterberg</b>													
Limite naturale (%)	14.23	16.80	12.28	12.52	17.55	9.91	15.37	12.53	12.74	26.71	25.94	14.50	8.77
Limite liquido (%)	24.6	22.7	22.1	20.5	24.3	25.9	21.7	30.2	22.7	42.2	44.1	25.0	17.8
Limite plastico (%)	18.3	16.0	17.2	15.4	15.6	23.0	16.1	24.2	17.1	28.4	25.4	18.0	12.9
Indice di plasticità (%)	6.3	6.7	4.9	5.1	8.6	2.9	5.6	5.9	5.6	13.8	18.7	6.9	4.9
Indice di consistenza	1.65	0.88	2.01	1.56	0.78	5.44	1.13	2.97	1.77	1.32	0.97	1.51	1.84
Indice di attività	0.39	0.33	0.26	0.28	0.37	0.28	0.38	0.36	0.59	0.40	0.72	0.41	0.26
Classif. casarande	ML-CL	ML-CL	ML-CL	ML-CL	CL	ML-OL	ML-CL	ML-OL	ML-CL	ML-OL	CL	ML-CL	ML-CL
<b>Grasso metria</b>													
Chiazza (%)	23.1	4.8	20.2	18.0	20.3	34.9	10.5	35.0	18.6	3.6	6.7	11.3	34.5
Sabbia (%)	39.6	39.7	41.7	43.4	32.8	37.8	49.8	34.1	50.4	25.4	36.1	44.9	36.0
Limo (%)	28.6	37.5	27.6	27.1	31.7	21.8	29.0	23.1	24.8	40.8	36.4	32.2	20.4
Argilla (%)	8.7	17.9	10.5	11.5	15.3	5.5	10.7	7.8	6.2	30.2	20.7	11.6	9.1
<b>Classificazioe e UNI 10006</b>													
Gruppo	A4	A4	A4	A4	A4	A2-4	A4	A2-4	A4	A7-6	A7-6	A4	A2-4
Indice di gruppo	1	4	1	1	3	0	3	0	1	10	9	2	0
Classe di qualità dei campioni	Q.4	Q.4	Q.4	Q.4	Q.4	Q.5	Q.4	Q.4	Q.4	Q.5	Q.5	Q.4	Q.4
Tipo litologico	A	T	A	A	A	A	A/T	A	A	T	T	T/A	A

Tipo litologico: Roccia (R); Alterazione (A); Terra (T)

Tabella 8 - Prove di laboratorio su campioni indisturbati (formazione del Verrucano) –  
 Fase P.E.

CAMPIONE	S603C1	S604C2	S604C3	S605C1	S607C1	S608C1	S608C2
Profondità metri	4.5 - 5.0	10.0 - 10.5	15.0-15.5	5.5 - 6.0	3.0 - 3.4	7.4 - 7.8	12.0 - 12.5
<b>Prova E.L.L.</b>							
Cu (kPa)	20,6	73,6	64,8	112,7	122,9	36,9	31,7
Eti (kPa)	5724	12101	6355	4346	3918	6850	4686
<b>Prova di taglio</b>							
C (kPa)	36,2	32,4	16,6	18,9	18,0	41,2	15,9
( °)	31,7	30,1	29,4	30,2	32,6	24,5	27,3
<b>Parametri fisici</b>							
Peso volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	19,2	19,4	18.3 - 19.6	20,4	19,3	18,9	18.2 - 20.1
Peso volume secco (kN/m <sup>3</sup> )	15,8	15,2	13.9 - 15.4	16,9	16,3	15,1	13.5 - 16.0
Peso specifico dei grani (kN/m <sup>3</sup> )			26,51		26,26		
Indice dei vuoti			0,861		0,606		
Grado di saturazione (%)			98,91		83,57		
<b>Limiti di Atterberg</b>							
Umidità naturale (%)	18,75	26,71	27,46	20,70	13,79	24,70	31,51
Limite liquido (%)	30,3	40,7	33,4	31,1	26,9	38,6	44,0
Limite plastico (%)	20,3	29,0	25,0	17,9	17,1	23,4	30,5
Indice di plasticità (%)	10,0	11,7	8,4	13,2	9,8	15,2	13,5
Indice di consistenza	1,16	1,20	0,71	0,79	1,34	0,92	0,92
Indice di attività	1,16	0,66	0,68	0,45	0,42	0,64	0,53
Classificaz. Casagrande	CL	ML-OL	ML-OL	CL	CL	ML	ML-OL
<b>Granulometria</b>							
Ghiaia (%)	11,9	0,4	18,0	0,2	48,4	2,9	0,1
Sabbia (%)	45,4	23,8	37,0	33,2	28,9	28,3	13,5
Limo (%)	35,6	59,1	36,5	38,9	14,7	48,0	60,9
Argilla (%)	7,0	16,8	8,5	27,8	8,1	20,8	25,4
<b>Classificazione UNI 10006</b>							
Gruppo	A4	A7-6	A4	A6	A2-4	A6	A7-5
Indice di gruppo	2	9	3	8	0	9	10
<b>Classe di qualità dei campioni</b>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>	<u>Q.5.</u>
<b>Tipo litologico</b>	A/T	T	A	T	A	T	T

Tipo litologico: Roccia ( R ); Alterazione ( A ), Terra ( T )

Tabella 9 - Prove di laboratorio su campioni indisturbati (Coltri superficiali) – Fase P.E.

In sede di Perizia Integrativa di variante è stata eseguita una correlazione dei risultati delle prove di laboratorio del P.E. con i dati della campagna geognostica integrativa.

Di seguito è riportata la tabella relativa ai parametri e alle profondità medie delle corrispondenti unità geotecniche così come riportata in perizia di variante:

Stratigrafia [m] da p.c.	Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Da 0.0 a 5.0	Depositi alluvionali - Al	19	5	30
Da 5.0 a 28÷39	Verrucano alterato V1/V2/V3a	20	15	31
Profondità maggiore di 28÷39	Verrucano compatto – V3	21	40	31

Tabella 10 – Parametri geotecnici delle unità indagate – Fase Perizia Integrativa

I valori di coesione considerati nella PV, con riferimento a quelli presenti nel PE del 2011, per quanto riguarda i depositi alluvionali sono stati considerati più bassi, a favore di sicurezza, vista l'elevata eterogeneità stratigrafica che li caratterizza.

Allo stesso modo anche i valori di coesione delle unità Verrucane alterate sono stati considerati inferiori ai valori medi derivanti dalle indagini di laboratorio del P.E., tenendo in conto la presenza di strati a maggior componente quarzítico-ghiaiosa caratterizzati da minor presenza di matrice fine.

L'ultima analisi, sempre condotta in sede di Perizia di Variante, effettuata riorganizzando e reinterpretando i dati disponibili, ha condotto ad un'ulteriore aggiustamento dei parametri geotecnici, in funzione di un aggiornamento delle unità discriminate.

Nella seguente tabella si riportano i valori dei principali parametri geotecnici così come riportati nei documenti di Perizia di Variante.

Unità	$\gamma$	$c'$	$\phi'$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>2</sup> ]	[°]
V1	19	5	30
V2	20	15	31
V3a	21	15	35
V3	22	40	45

Tabella 11 – Parametri geotecnici delle unità – Aggiornamento Perizia Integrativa

È da segnalare che è stata già realizzata la quasi totalità di diaframmi che sono stati dimensionati con la caratterizzazione di cui alla Tabella **11**.

Per quanto concerne i livelli di falda, i dati più recenti a disposizione per il monitoraggio delle altezze piezometriche derivano da tre misure (2 e 11 dicembre 2014, 10 dicembre 2015) effettuate su piezometri installati all'interno dei fori di sondaggio della campagna integrativa. Ulteriori misure a campione sono state eseguite durante il sopralluogo effettuato da ENSER il 18/12/2015.

Altri dati provengono da letture piezometriche effettuate a cavallo fra ottobre 2010 (piezometri già esistenti) e febbraio 2011 (piezometri in fori dei sondaggi P.E. e pozzi di controllo).

Le misure del dicembre 2014 e 2015 sono riportate rispettivamente in Tabella 12 e Tabella 13:

PIEZOMETRO	TIPO	Prof. (m)	02/12/2014	02/12/2014	11/12/2014	11/12/2014
			Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)	Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)
S1	casagrande	15	0.42	7.57	0.42	7.57
SA	tubo aperto	35	0.28	7.88	0.09	8.07
S2	casagrande	10	4.65	6.81	4.59	6.87
S4	casagrande	23.5	2.54	8.65	2.15	9.04
S5	casagrande	15	4.04	7.38	3.68	7.74
S6	tubo aperto	30	-	-	-	-
S7	casagrande	15	3.1	9.87	3.24	9.73
S8	tubo aperto	14	3.55	10.04	3.5	10.09
S9	casagrande	35	4.12	9.84	3.76	10.2
PZ3	casagrande	23	-	-	-	-
PZ2	tubo aperto	28.5	-	-	-	-

Tabella 12 – Dati di monitoraggio falda, misurazioni dicembre 2014

PIEZOMETRO	TIPO	Prof. (m)	10/12/2015	10/12/2015	18/12/2015
			Prof. falda da p.c. (m)	Quota falda da p.c. (m slm)	Prof. falda da p.c. (m)
S1	casagrande	15	1.54	6.45	-
SA	tubo aperto	35	1.41	6.75	-
S2	casagrande	10	9.64	1.82	-
S4	casagrande	23.5	3.97	7.22	4.2
S5	casagrande	15	ostruito	-	-
S6	tubo aperto	30	-	-	5.85
S7	casagrande	15	ostruito	-	-
S8	tubo aperto	14	5.61	7.98	-
S9	casagrande	35	7.73	6.23	-
PZ3	casagrande	23	-	-	4.8
PZ2	tubo aperto	28.5	-	-	5

Tabella 13 – Dati di monitoraggio falda, misurazioni dicembre 2015

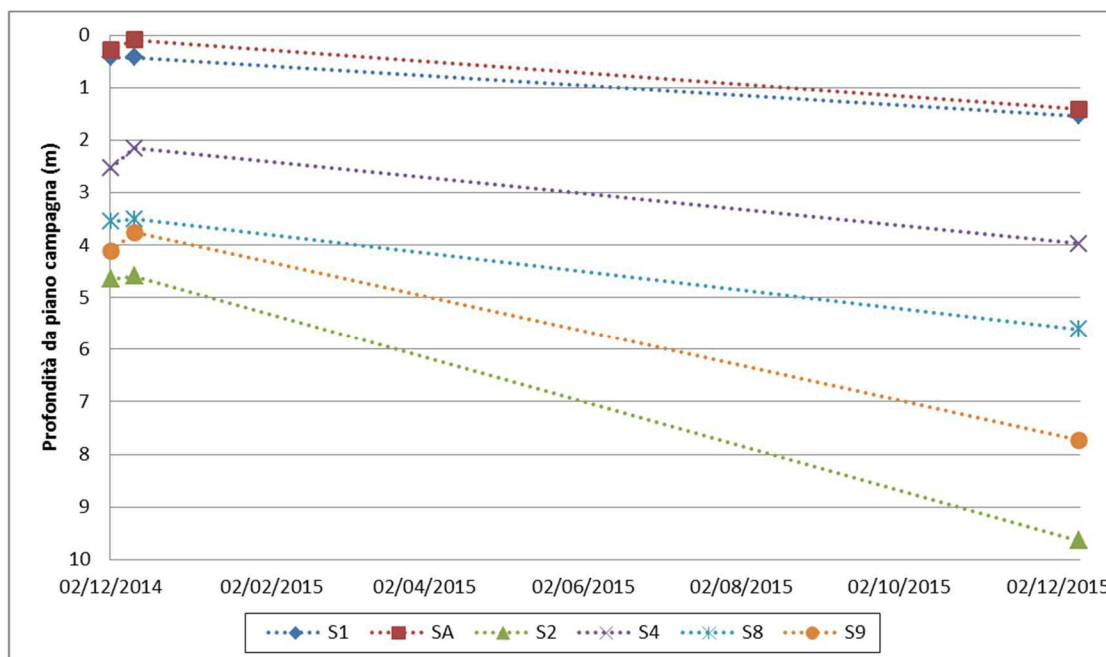


Figura 15 Andamento dei livelli di falda relativo ai piezometri installati nei fori di sondaggio eseguiti in fase di indagine integrativa

In **Figura 15** sono stati riportati quei piezometri per i quali si hanno a disposizione almeno 3 misure effettuate tra il 2014 e il 2015. Pur non essendo questi dati significativi per stabilire un trend affidabile di variazione della falda è importante notare come i valori di altezza della superficie piezometrica, al dicembre 2015, risultino costantemente inferiori rispetto a quelli del 2014. Questo comportamento è dovuto alla scarsità di precipitazioni intervenute nel periodo precedente la misurazione.

Proprio a causa di questa penuria di dati a disposizione, i calcoli effettuati, a favore di sicurezza, hanno considerato la situazione idrogeologicamente più sfavorevole in termini di altezza della tavola d'acqua.

Per completezza, di seguito si riportano anche i dati relativi alle misure di falda registrati durante il Progetto Esecutivo nei pozzi/piezometri con ubicazione più prossima a quella della galleria Fornaci II:

03-04/02/2011			
PIANO ESECUTIVO			
SONDAGGIO	Prof. Sondaggio (m)	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
601	22.5	0	11.7
604	40	-2.2	6.6
605	25	-1.5	6.4
606	40	-2.5	6.4
607	40	0	4.7
610	25	-16.5	7.8

Tabella 14 – Quota falda sondaggi perizia integrativa

GEN-FEB 2011			
PIANO ESECUTIVO			
POZZO	Prof. Pozzo (m)	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
640	35	-3.9	11.7
641	25	-1.8	11.8
643	15	-3.4	11.6

Tabella 15 – Quota falda Pozzi di controllo – Piano Esecutivo

20/10/2010		
PIANO ESECUTIVO		
PIEZOMETRO	Prof. Falda da p.c. (m)	Quota falda m s.l.m.
S30	-3.4	10.6
S31bis	-18.6	10.4

Tabella 16 – Quota falda piezometri già esistenti

I dati ottenuti, pur essendo cronologicamente distanti da quelli più recenti mostrati in Tabella 12 e in Tabella 13, forniscono risultati compatibili con le altezze piezometriche

precedentemente definite.

Nonostante ciò, a causa delle diverse interpretazioni relative al comportamento idrogeologico dei terreni oggetto di studio e della scarsità di dati di monitoraggio, risulta estremamente complesso acquisire una piena comprensione delle caratteristiche di variabilità nel tempo ed estensione dei corpi idrici sotterranei nonché delle possibili interferenze tra l'acquifero più superficiale e quello profondo Verrucano.

Relativamente a quest'ultimo aspetto, in base agli studi disponibili in bibliografia, effettuati in aree adiacenti a quella di studio, si è definita la possibilità di interferenze tra i due acquiferi a causa della risalita, attraverso zone a maggior fratturazione, di flussi profondi a carattere termale.

Nonostante ciò, dai dati derivanti dai sondaggi della perizia integrativa viene indicato come non si sia verificata l'intercettazione della falda profonda e come possa, dunque, ragionevolmente escludersi che gli scavi possano intercettare l'acquifero artesiano profondo.

Durante le successive fasi di lavoro sarà necessario prevedere un monitoraggio del livello piezometrico così da mantenere sotto controllo i livelli di falda in risposta agli interventi di dewatering nell'area di cantiere.

Al fine di mitigare gli abbassamenti della falda in fase di costuzione e di garantire la stabilità del fondo scavo è prevista in progetto la realizzazione di un tappo di fondo in jet-grouting.

### 3.4 Svincolo Melara

Le fondazioni dei viadotti che costituiscono lo svincolo Melara risultano tutte quante realizzate, pertanto non si presenta la parte di caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione in quanto non utile ai fini di questo progetto di completamento.