

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)

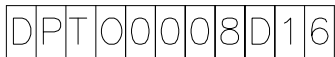

PROGETTO DEFINITIVO

COD. TO08

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL GEOLOGO: <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	IL PROGETTISTA: <i>Ing. Alessandro Rizzo Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> GRUPPO DI PROGETTAZIONE: COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>
IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE: <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>	VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO: <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>	
PROTOCOLLO:	DATA:	

03 – GEOLOGIA E GEOTECNICA

Relazione geotecnica

CODICE PROGETTO 	NOME FILE 03.10_P00_GE00_GET_RE01_B	PROGR. ELAB. 03.10	REV. B	SCALA: 1:5.000
	CODICE ELAB. 			
D				
C				
B	ISTRUTTORIA ANAS	Mag. 2020	Technital	Fresia Piccoli Picoli
A	EMISSIONE	Mar. 2020	Technital	Fresia Piccoli Renso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO VERIFICATO APPROVATO

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	OGGETTO E SCOPO	6
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	8
4.1	CONTESTO GENERALE	8
4.2	GEOLOGIA.....	11
4.3	GEOMORFOLOGIA	16
4.4	IDROGEOLOGIA	19
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE.....	21
5.1	INDAGINI 2003 DI PROGETTO PRELIMINARE	21
5.2	INDAGINI E MONITORAGGI ARPA 2011.....	25
5.3	INDAGINI SNAM RETE GAS 2016.....	26
5.4	BANCA DATI ISPRA	27
6	INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO 2019	28
6.1	SONDAGGI	28
6.2	POZZETTI ESPLORATIVI.....	32
6.3	PROVE IN SITO	33
6.4	PROVE DI LABORATORIO	36
6.5	INDAGINI GEOFISICHE	38
6.6	MONITORAGGIO PIEZOMETRICO ED INCLINOMETRICO.....	40
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	42
7.1	DEPOSITI QUATERNARI	42
7.1.1	Unità R-V. Terreno vegetale e materiale di riporto.....	42
7.1.2	Unità Aa. Depositi alluvionali attuali	42
7.1.3	Unità Ab. Depositi alluvionali dei piani terrazzati	43
7.1.4	Unità Ac. Depositi alluvionali antichi	48
7.2	FORMAZIONI PLIOCENICHE	50
7.2.1	Unità Ga. Argille Grigio Azzurre.....	50
7.3	FORMAZIONI MIOCENICHE.....	53
7.3.1	Unità Cs. Formazione di Cassano Spinola	53
7.3.2	Unità Sa. Marne di S. Agata Fossili	56
7.3.3	Unità L. Formazione di Lequio	72
7.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	83
8	SCAVI E RILEVATI	85

8.1	PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA	85
8.2	VERIFICHE DI STABILITA'	86
9	METODOLOGIA DI SCAVO E BILANCIO TERRE	94
10	MONITORAGGIO STRUTTURALE	98
11	BIBLIOGRAFIA	101

Allegati:

Allegato 1. Campagna geognostica anno 2019. Tabelle riepilogative prove di classificazione e caratterizzazione geotecnica.

Allegato 2. Tabulati di calcolo GStable. Verifiche di stabilità pendii naturali, scavi e rilevati.

ELENCO DEI SIMBOLI

σ_{v0} (MPa)	=	sforzo verticale totale in sito
σ'_{v0} (MPa)	=	sforzo verticale efficace in sito
u_0 (MPa)	=	pressione interstiziale riferita al medio mare
σ_1 (MPa)	=	sforzo principale maggiore a rottura
σ_3 (MPa)	=	sforzo principale minore a rottura
RQD	=	Rock Quality Designation
RMR	=	Rock Mass Rating
GSI	=	Geological Strength Index
Q	=	Barton Index
σ_{ci} (MPa)	=	resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta
σ_{ti} (MPa)	=	resistenza a trazione della roccia intatta
σ_{cm} (MPa)	=	resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso roccioso
σ_{tm} (MPa)	=	resistenza a trazione dell'ammasso roccioso
LL (%)	=	limite liquido
LP (%)	=	limite plastico
IP (%)	=	indice di plasticità
w_n (%)	=	contenuto naturale d'acqua
OCR (-)	=	grado di sovraconsolidazione
p_a (MPa)	=	pressione atmosferica
g (m/s)	=	accelerazione di gravità
γ (kN/m ³)	=	peso di volume totale
e_0 (-)	=	indice dei vuoti in sito
e_{max} (-)	=	indice dei vuoti massimo
e_{min} (-)	=	indice dei vuoti minimo
DR (%)	=	densità relativa = $(e_{max}-e_0)/(e_{max}-e_{min})$
c' (kPa)	=	coesione in sforzi efficaci
c_u (kPa)	=	coesione non consolidata non drenata
ϕ' (°)	=	angolo di attrito di picco, in sforzi efficaci
E (MPa)	=	modulo di elasticità – valore operativo

E_{max} (MPa)	=	modulo di elasticità iniziale (deformazione $10E-6$)
G_{max} (MPa)	=	modulo di taglio iniziale (deformazione $10E-6$)
CR (-)	=	rapporto di compressione
RR (-)	=	rapporto di ricomprensione
ν (-)	=	coefficiente di Poisson
K_0 (-)	=	coefficiente di spinta a riposo
K (m/s)	=	coefficiente di permeabilità
V_s (m/s)	=	velocità delle onde di taglio
V_p (m/s)	=	velocità delle onde longitudinali
SPT	=	prova penetrometrica dinamica standard (Standard Penetration Test)
NSPT (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi SPT per la penetrazione di 0,3 m (=1 piede)
N1 (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi SPT normalizzato
N60 (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi corrispondente al 60% dell'energia di battitura nominale
(N1)60 (colpi/0,3 m)	=	numero di colpi normalizzato (N1) corrispondente al 60% dell'energia nominale

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 suddivisa in 3 lotti funzionali, Figura 1.1, dei quali i primi due sono stati già completati e sono 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.

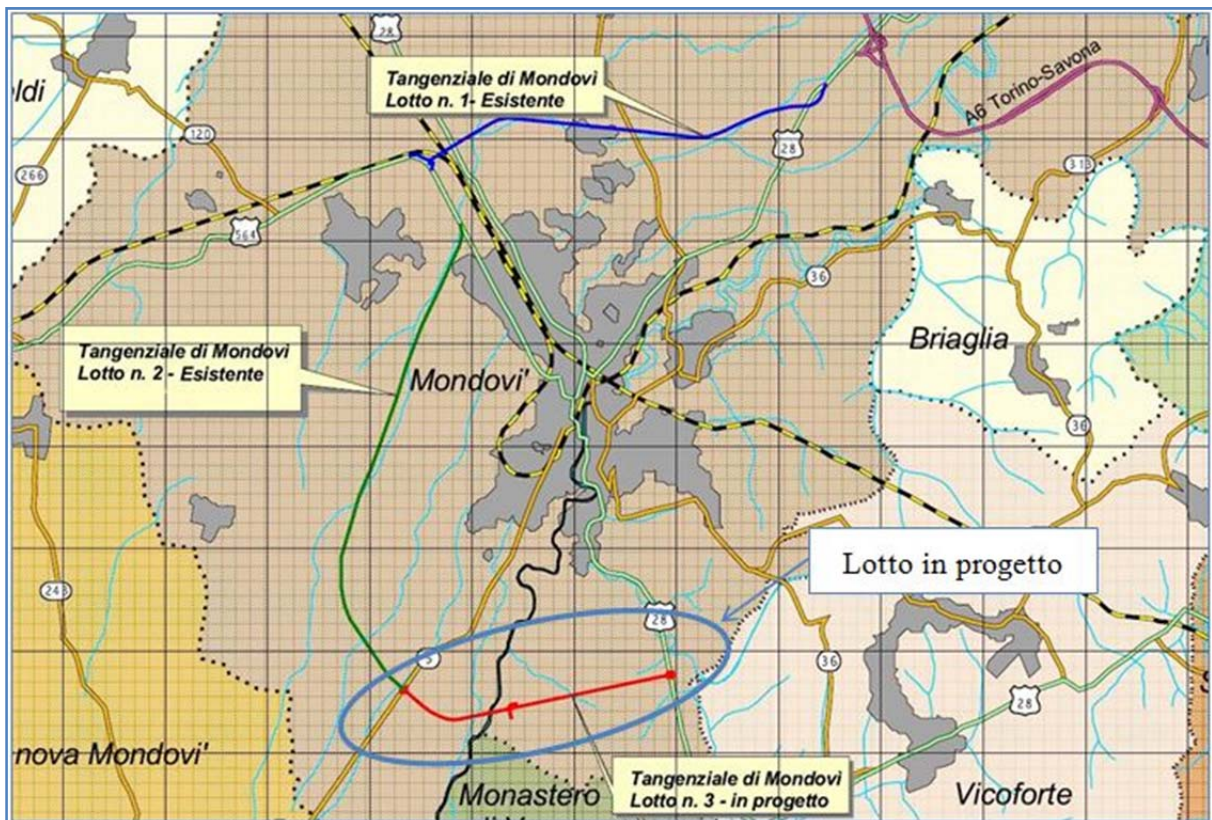


Figura 1.1 Tangenziale di Mondovì. Inquadramento geografico a grande scala

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 rotonda 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 schematicamente il profilo di progetto a scale sfalsate.

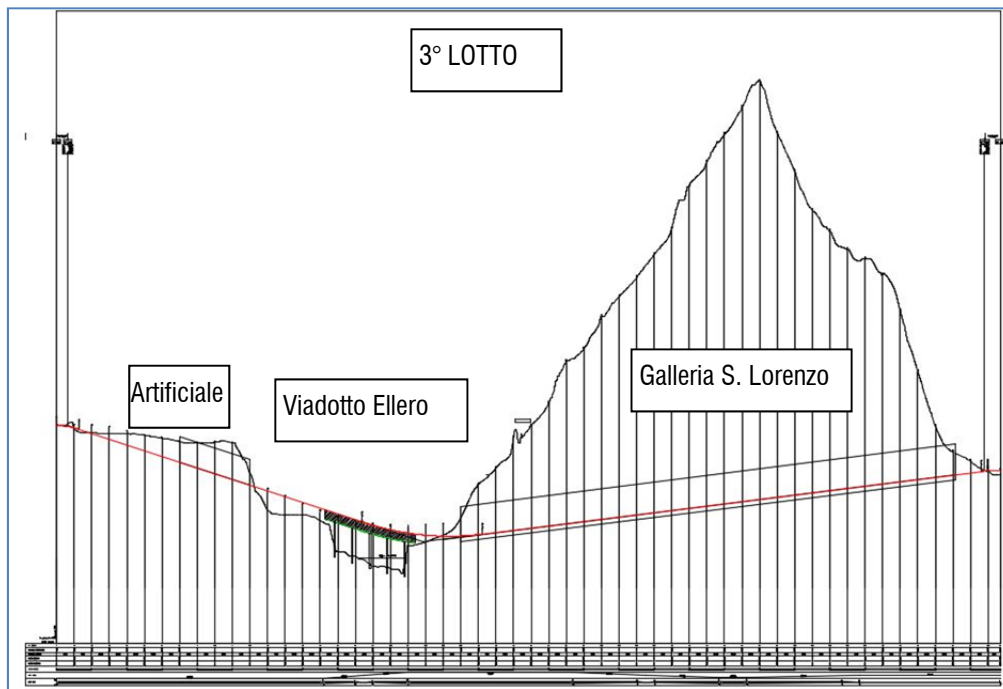


Figura 1.2 Profilo di progetto

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 monte) di un ponte sul torrente Ermena fra il rione Borgato ed il Km 31 della S.S.28 (Figura 1.3).

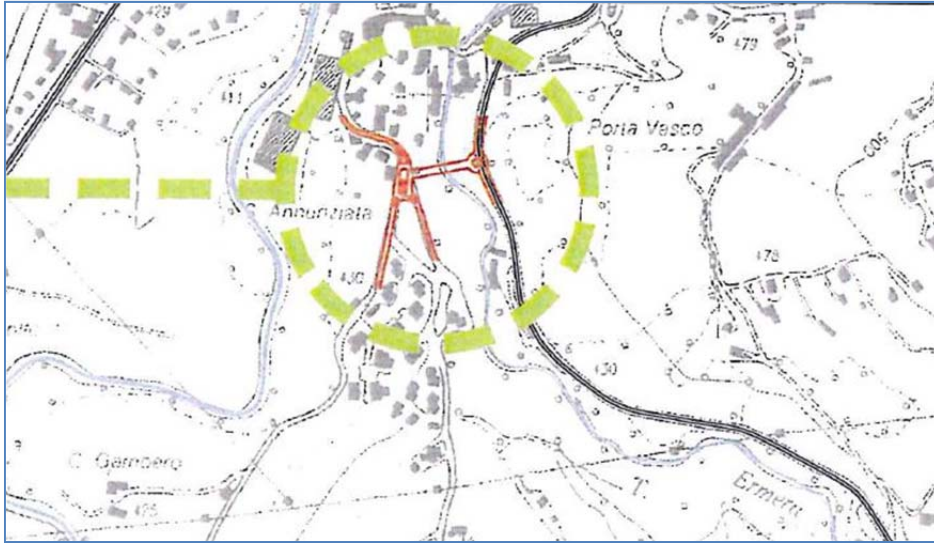


Figura 1.3 Ponte sul torrente Ermena nella soluzione proposta dal Comune di Mondovì

Partendo dal Progetto Preliminare, redatto nel dicembre 2003, il presente documento ha preso avvio attraverso una raccolta bibliografica di più recenti dati ed informazioni riguardanti l'areale in studio. Sono stati quindi acquisiti gli esiti di indagini geognostiche e monitoraggi pregressi ricadenti in corrispondenza o nell'immediato intorno al tracciato di progetto, che si integrano alle indagini 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 E SCOPO

Il presente documento, unitamente agli elaborati grafici che lo accompagnano, costituisce la relazione geotecnica a corredo del Progetto Definitivo del 3° lotto della Tangenziale di Mondovì compresa fra la S.P. 5 Villanova-Mondovì e la S.S. 28 del Colle di Nava.

Le opere principali sono rappresentate da una breve galleria artificiale, dal Torrente Ellero e dalla galleria naturale S Lorenzo, che scavalca l'omonima dorsale a Sud del centro abitato di Mondovì in prossimità del confine con il Comune di Monastero di Vasco. Un viadotto sul Torrente Ermena, di collegamento con il Rione Borgato, rappresenta un'ulteriore e separata opera richiesta dal Comune di Mondovì in sostituzione di uno svincolo intermedio previsto lungo il tracciato principale in sede di Progetto Preliminare.

Oggetto del lavoro è l'illustrazione delle indagini, dei rilevati di campagna, delle prove in sito e di laboratorio complessivamente disponibili lungo il tracciato del 3° lotto della tangenziale di Mondovì.

Scopo del lavoro è quello di definire, attraverso l'analisi delle informazioni acquisite integrate da documentazione bibliografica, la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto e l'interazione opere/terreni.

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero dei Lavori Pubblici n. 47 (11 marzo 1988) "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Eurocodice 8 – Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture. Parte 5: Fondazioni, Strutture di contenimento ed Aspetti geotecnici (1998).
- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24 settembre 1988 n.30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione". (Pres. Cons. Superiore — Servizio Tecnico Centrale).
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica (ordinanza n. 3274 – Allegati 1, 2 e 3);
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 17/01/2018, pubblicate sulla G.U. del 20.02.2018.
- Circolare 21/01/2019 n 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al DM 17/01/2018

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

4.1 CONTESTO GENERALE

Il modello geologico di riferimento assunto per la progettazione è basato sull'esame della documentazione bibliografica disponibile, sugli esiti dei rilievi geologici di superficie effettuati nella primavera della 2019 e sulle risultanze delle indagini geognostiche eseguite nelle diverse fasi progettuali e/o reperite nell'intorno dell'asse di progetto.

A grande scala l'area in studio ricade all'interno del **Bacino Terziario Piemontese (BTP)**, un vasto ambiente marino posto all'interno dell'arco delle Alpi Occidentali e nel quale si è deposta, fra la fine dell'Eocene e il Pliocene, una potente successione terziaria marina seguita nel Quaternario, fra Plio-Pleistocene e Olocene, da una successione di ambiente continentale.

L'arco delle Alpi Occidentali che racchiude il BTP è costituito da una serie di terreni metamorfici e cristallini, ripetutamente corrugati in senso radiale, con forti ribaltamenti, rovesciamenti e scorrimenti accompagnati da importanti faglie. La parte inferiore della successione è rappresentata da formazioni gneissico micascistose Paleozoiche che verso l'alto si chiudono con scisti cristallini del Permo Carbonifero. Su di esse si sviluppano le formazioni mesozoiche, anch'esse in gran parte metamorfosate, rappresentate da quarziti e anageniti del Trias inferiore, calcari più o meno dolomitici del Trias medio, e da una potente pila di calce-micascisti con lenti di Pietre Verdi rappresentanti il complesso mesozoico medio superiore metamorfico.

Nel terziario buona parte del Piemonte, come tutta la Pianura Padana, è coperto dal mare. All'interno di quell'estrema porzione di depressione identificata dal BTP, bordata dai rilievi emersi della catena alpina, avviene una deposizione per correnti di torbidità in facies di flysch e, prevalentemente, di molassa, provenienti in massima parte dai quadranti occidentali (Gnaccolini 1968) che raggiunge spessori massimi di oltre 4.000 m. Per meglio comprendere la genesi e l'ambiente sedimentario è opportuno chiarire che in geologia per flysch si intende un deposito sin-orogenco mentre la molassa è un deposito post-orogenco. Sono entrambi depositi clastici, costituiti quindi dallo smantellamento di rocce preesistenti affioranti in zone più o meno attigue, che confluiscono in aree bacinali poste ai margini di una catena montuosa, con la differenza che il flysch si è depositato in zone ad elevata energia mentre la molassa in condizioni di sostanziale quiete strutturale. Tipicamente sono rappresentati dall'associazione, con spiccata variabilità laterale e verticale, di diversi litotipi fra cui arenarie variamente cementate, conglomerati, peliti e marne. Nel caso del BTP le diverse unità stratigrafiche che si depongono nel bacino costituiscono fasce allungate in direzione NE-SO che descrivono una blanda monoclinale immergente generalmente verso N o NW.

Con l'alternarsi della natura dei suoi depositi questa complessa e potente serie di sedimenti, prevalentemente terrigeni, nei rapporti fra le diverse unità stratigrafiche ma anche all'interno della medesima unità riflette le complesse palpitazioni orogeniche che si verificarono quasi ritmicamente nella conca marina piemontese e, probabilmente, nel limitrofo arco montano, durante la fase orogenica alpina. La ripetuta intercalazione nella successione stratigrafica di zone ghiaioso ciottolose, anche potenti ed a grossi elementi, testimonia l'intensità di fenomeni di sollevamento, basculamento e trasporto verificatisi entro ed ai margini del BTP in diverse fasi.

In quest'ambito i terreni fino all'**Oligocene** non sono rappresentati nell'area in studio e la relativa descrizione può in questa fase essere omessa.

Il **Miocene** inferiore (Aquitano - Burdigaliano) e medio (Elveziano) vede la deposizione di Marne, arenarie e sabbie cui seguono, nel Miocene superiore (Tortoniano e Messiniano) marne grigie più o meno argillose o sabbiose di un mare che tende progressivamente a ritirarsi. Dalla bibliografia geologica le unità stratigrafiche afferenti al Miocene sono le seguenti:

- Marna di Paroldo (Langhiano – Aquitano): marne grigie con intercalazioni di arenarie e sabbie;
- Formazione di Cortemilia (Langhiano-Aquitano): arenarie alternate a marne e sabbie;
- Formazione di Cessole (Langhiano): marne alternate ad arenarie e sabbie;
- Formazione di Cassinasco (Serravalliano-Langhiano): sabbie alternate ad arenarie con subordinate marne;
- Arenarie di Serravalle (Serravalliano): arenarie, sabbie e conglomerati;
- Formazione di Murazzano (Serravalliano – Langhiano): marne con rare intercalazioni arenacee;
- Formazione di Lequio (Tortoniano – Serravalliano): sabbie ed arenarie alternate a marne
- Marne di S. Agata Fossili: (Messiniano – Tortoniano) marne con intercalazioni arenacee.

Vediamo quindi come durante tutto questo arco temporale si registri una potente deposizione in condizioni di mare tranquillo dove termini ora marnosi o marnoso sabbiosi ora arenacei o arenaceo sabbiosi, a tratti ghiaioso conglomeratici, si alternano con caratteri sostanzialmente analoghi risultando fra loro difficilmente distinguibili se non su base micropaleontologica

Segue una fase di regressione marina che culmina nel Messiniano (ultimo piano del Miocene superiore) con condizioni di mare poco profondo, passanti ad ambiente salmastro o lagunare per la progressiva chiusura del Mediterraneo che ormai costituisce un mare isolato rispetto all'atlantico dove l'evaporazione non è compensata dall'ingresso di sufficienti volumi d'acqua. Il Messiniano è suddiviso (Selli 1960) in tre livelli: uno inferiore pre evaporitico argilloso che nel BTP è rappresentato dalle Marne di S. Agata Fossili, uno evaporitico (non rilevabile nel sedime in studio) con deposizione di litologie assai varie da luogo a luogo (marne, sabbie con ghiaie e ciottoli) ivi compresi banchi gessiferi espressione di ambienti evaporitici durante il quale si è avuta l'emersione delle basse

colline delle Langhe e del Monferrato, ed uno post evaporitico (facies di lago mare, Ruggieri 1962 – 1967) che nel margine centro meridionale del BTP viene riferito alla Formazione di Cassano - Spinola. Nei gessi in alcune aree vengono riscontrati fossili marini e vegetali rappresentativi di un clima tropicale. In ogni caso l'emersione complica la successione determinando locali lacune stratigrafiche e addirittura fenomeni di erosione da cui può derivare una oggettiva difficoltà correlativa.

Nel **Pliocene** una nuova trasgressione marina dovuta a movimenti separatori presso Gibilterra porta ad una diffusa e nuova sommersione del Piemonte con la deposizione di Argille Azzurre relativamente omogenee e prive di stratificazione. Il livello marino torna quindi a diminuire portando alla deposizione di sabbie giallastre astiane, con talvolta orizzonti arenacei al tetto contenenti fossili di molluschi e foraminiferi bentonici che ben documentano la progressiva riduzione di profondità del mare sino all'emersione Villafranchiana (Violanti 1996). Il Pliocene segna sostanzialmente la chiusura del Terziario e l'inizio del **Quaternario**, e con quest'ultimo periodo si registra la definitiva scomparsa del mare piemontese che lascia il posto ad un potente complesso Villafranchiano prevalentemente granulare espressione di sistemi deposizionali continentali, deltizi e costieri, dove il lento sollevamento dovuto alle spinte verso nord del continente africano disegna gli attuali sistemi collinari.

L'ultimo grande contributo alla deposizione ed alla modellazione del territorio è fornito dall'alternarsi delle fasi glaciali e interglaciali che, con il loro importante trasporto delle acque e del vento rimodellano il territorio e permettono la deposizione di coltri alluvionali e fluvioglaciali prevalentemente granulari.

In estrema sintesi la successione stratigrafica che interessa il sedime di progetto, identificata da riferimenti bibliografici e dall'esito delle indagini geognostiche, è geo-cronologicamente di difficile attribuzione in quanto la cartografia geologica ufficiale disponibile per quest'area è piuttosto datata e come tale non cogente con le più recenti unità stratigrafiche istituite. Tale difficoltà è accresciuta dalla diffusa presenza a diversi livelli di unità marnose ed arenacee fra loro difficilmente distinguibili in assenza di precise datazioni micropaleontologiche che esulano dallo scopo del presente lavoro. Ciò detto la successione geostratigrafica, interpretata dall'alto verso il basso è la seguente:

- Alluvioni attuali e recenti degli alvei ghiaioso sabbioso limose con ciottoli e grossi blocchi arrotondati di natura prevalentemente quarzifica o quarzoarenitica (Quaternario);
- Alluvioni terrazzate sabbioso limoso a tratti ghiaiose (Quaternario);
- Alluvioni antiche ghiaiose in matrice limoso sabbiosa (Quaternario);
- Marne grigio azzurre consistenti (Pliocene);
- Formazione di Cassano Spinola. Alternanza di sabbie limose, limi sabbiosi e sabbie ghiaiose con possibili blocchi lapidei quarzoarenitici (Miocene superiore – Messiniano));
- Formazione delle Marne di S Agata Fossili. Marne sabbiose più o meno argillose da molto consistenti a debolmente lapidee di colore grigio sulle superfici fresche, talvolta fossilifere, di ambiente marino

(molluschi) con subordinate intercalazioni arenacee, calcaree o conglomeratiche più frequenti nella porzione inferiore dell'unità (Miocene superiore);

- Formazione di Lequio. Arenarie variamente cementate di colore grigio in profondità, e bruno giallastro nei rarissimi affioramenti, con intercalazioni di marne, marne calcaree, calcari, conglomerati, sabbie e quarziti (Miocene medio e superiore).

Fermo restando la correttezza del modello stratigrafico e geotecnico di progetto, dedotto da accurate indagini sito-specifiche, a parere di chi scrive le evidenze stratigrafiche non permettono comunque di escludere a priori che le arenarie siano attribuibili non alla formazione di Lequio bensì alle più antiche Arenarie di Serravalle. Se così fosse le soprastanti marne non sarebbero quelle di S. Agata bensì della formazione di Murazzano.

4.2 GEOLOGIA

La descrizione del modello geologico è di seguito riportata con riferimento ai contenuti della Carta Geologica, del Profilo Geologico e del Profilo Geotecnico. Per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda ai contenuti della Relazione Geologica.

A partire dalla rotatoria esistente sulla SP5 nel **tratto compreso fra inizio intervento e il Fiume Ellero** nei primi 500 m sono presenti depositi alluvionali antichi ghiaioso ciottolosi in matrice sabbioso limosa aventi spessore nell'ordine di 4-6 m circa. Le alluvioni poggiano sull'unità di Cassano Spinola costituita da sabbie limose e limi argillosi di colore marrone giallastro inglobanti blocchi di quarzite anche grossolani. Dalle indagini eseguite lo spessore stimato è nell'ordine di circa 10-15 m. A seguire le Marne di S. Agata fossili che rimangono in questo tratto a profondità tali da non essere interessate dai lavori.

Sul terreno non sono evidenti affioramenti particolari se non un terreno coltivo, di spessore 0,8-1m circa, ricco in sostanza organica prevalentemente sabbioso limoso. Le aree sono coltivate a seminativo e irrigate per dispersione a mezzo rete di canali, o adibite a fienagione (Foto 4.1).



Foto 4.1 Sinistra idrografica del Fiume Ellero. La fotografia è stata scattata dall'attuale termine della circonvallazione di Mondovì e guarda verso la Collina di S. Lorenzo

Fra le progressive 500 – 750 circa la presenza di un orlo di terrazzo fluviale comporta una perdita di quota di circa una decina di metri ed un assottigliamento della coltre alluvionale che mostra spessore di circa 2 m. Essa poggia sulle argille grigio azzurre molto consistenti e sovraconsolidate, riscontrate in sondaggio, in affioramento con immersione NE in sponda sinistra dell'alveo del Fiume Ellero (Foto 4.2), oltre che sul sedime di una vecchia cava utilizzata per la produzione di laterizi. Dopo circa 13 m alle argille seguono le eterogenee sabbie limose del Cassano Spinola passanti a circa 32,5 m da p.c. alle sottostanti Marne di S. Agata Fossili. L'asse stradale sviluppato in rilevato poggerà sulle alluvioni e sulle sottostanti argille grigio azzurre.



Foto 4.2 Marne grigio azzurre consistenti immergenti verso NNE con inclinazione non superiore a 10° in sponda sinistra dell'Ellero

L'attraversamento del Fiume Ellero fra progressive 750-1.000 m avviene con un viadotto lungo circa 240 m a 4 campate. Il corso d'acqua è impostato su depositi alluvionali attuali costituiti da prevalenti ghiaie e sabbie inglobanti abbondanti blocchi e massi prevalentemente arrotondati aventi dimensioni anche superiori al metro cubo a composizione prevalentemente quarzoarenitica (Foto 4.3). In zona alveo non sono state eseguite indagini dirette ma si ritiene che le alluvioni poggino, a profondità non superiore a 3-5 m da p.c., sulle sabbie limose del Cassano Spinola, anch'esse inglobanti massi quarzoarenitici, e sulle marne di S Agata fossili individuate dai sondaggi eseguiti su entrambe le spalle. In quest'ottica l'alveo dell'Ellero è impostato al nucleo di una debole struttura sinforme che trova conferma nelle giaciture immergenti verso NW in sponda destra e verso NE in quella destra.



Foto 4.3 Fondovalle del Torrente Ellero con presenza di ciottoli e blocchi arrotondati anche grossolani

In sponda destra del Fiume Ellero fra le progressive 1.000 – 1.200 m lungo il tratto in approccio alla galleria naturale è presente la Formazione di Cassano Spinola in forma di alternanze sabbioso limose o limoso sabbioso argillose, e subordinatamente ghiaioso sabbiose, con locale presenza di blocchi generalmente pluridecimetrici fino (raramente) a metrici di quarzoarenite, arrotondati, visibili in affioramento anche a margine della viabilità esistente. Il colore è marrone o marrone giallastro. Lo spessore è di circa 10 m all'altezza della strada (Via Vecchia di Frabosa) in diminuzione verso l'alveo dell'Ellero (valle).

La **dorsale di San Lorenzo fra le progressive 1.100m e 2.500 m** viene superata da una galleria naturale lunga circa 1.412 m avente copertura massima nel tratto centrale di circa 110m. Gli scavi si svilupperanno alle due estremità nelle marne con subordinate intercalazioni di arenarie della Formazione di S. Agata Fossili, un materiale da molto consistente e sovraconsolidato sino a lapideo o pseudolapideo, a permeabilità modesta. I sondaggi eseguiti hanno evidenziato la presenza, nel tratto centrale della galleria, di un'unità stratigrafica costituita da arenarie da poco a mediamente cementate con subordinate alternanze di marne, conglomerati, sabbie e calcari marnosi attribuita alla Formazione di Lequio.

In Foto 4.4 e Foto 4.5 si possono osservare alcune cassette di sondaggio rappresentative delle due formazioni presenti lungo lo sviluppo della galleria.



Foto 4.4 Marne (di S Agata Fossili) nel sondaggio S10-Pz fra 10-15 m da p.c.



Foto 4.5 Arenarie (della F.ne di Lequio) nel sondaggio S8-Pz fra 100-105 m da p.c.

Il tratto di fine intervento, fra le progressive 2.500m e 2.667 m interessa depositi alluvionali limoso sabbiosi debolmente argillosi in appoggio sulle mane di S. Agata Fossili.

Nella zona del ponte di **Rione Borgato** sul fondovalle del torrente Ermena affiorano depositi alluvionali attuali e recenti grossolani con abbondanti massi, mentre lungo i versanti si hanno depositi alluvionali granulari terrazzati più antichi sabbioso limoso ghiaiosi. Lungo la viabilità sono state riscontrate modeste coltri di materiale di riporto a

composizione granulare. Il substrato, messo in luce dalle indagini anche a debole profondità, ma non affiorante, è attribuito alle Marne di S Agata Fossili.

4.3 GEOMORFOLOGIA

Lungo la collina di San Lorenzo la documentazione bibliografica disponibile evidenzia diffuse condizioni di pericolosità geomorfologica imputabili ad una serie di cause che possono essere così brevemente riepilogate:

- versante occidentale: copertura di materiali sabbioso limosi variamente argillosi (Formazione di Cassano Spinola) poggianti su un substrato marnoso (Marne di S Agata) avente giacitura a franapoggio;
- versante occidentale: presenza di un'ampia perimetrazione di frana quiescente (paleofrana?) i cui limiti ripercorrono in parte quelli dell'unità di Cassano Spinola al cui interno si riconoscono più modeste perimetrazioni di frane, alcune delle quali potenzialmente attive;
- versante orientale: presenza di una diffusa coltre superficiale di alterazione marnoso argillosa;
- rete di drenaggio naturale assai poco evoluta e scarsamente organizzata gerarchicamente che limita il deflusso naturale favorendo la penetrazione delle acque nel sottosuolo;
- versanti a modesta pendenza con evidenti contropendenze e ristagni idrici;
- condizioni di falda spesso prossima piano campagna favorita dal limite di permeabilità rappresentato dalle marne di S Agata.

Per una più chiara contestualizzazione in Figura 4.1 si riporta la scheda SIFRAP (Sistema Informativo Frane di Arpa Piemonte) della collina di S. Lorenzo con indicato il tracciato di progetto e, all'estremo nord della carta, la posizione del ponte sull'Ermene nel Rione Borgato.

Vediamo come lungo il versante orientale della collina la pericolosità geomorfologica sia diffusa seppur meno accentuata, con perimetrazioni di frana generalmente per colata esterne al tracciato di progetto e comunque superficiali rispetto alle opere (poste in galleria). I depositi alluvionali sabbioso limosi poggianti sul substrato marnoso, o le coltri di alterazione superficiale dello stesso substrato marnoso, sono comunque interessati da fenomeni deformativi ben evidenti sul terreno. Tale instabilità potenziale interessa anche le coltri che gravano in zona d'imbocco dove è stato osservato un recente dissesto, per quanto poco esteso e superficiale.

Sul versante occidentale, occupato dai depositi sabbioso limoso argillosi della Formazione di Cassano Spinola in appoggio sul substrato marnoso, la Carta Geomorfologica riporta un'ampia perimetrazione di frana quiescente all'interno della quale sono censite alcune e più piccole frane, quiescenti o potenzialmente attive (anche in funzione della fonte bibliografica consultata) generalmente per scivolamento o traslazione. Due di queste ricadono in prossimità dell'imbocco ovest della galleria. La frana più settentrionale non dispone di pregressi monitoraggi e dai rilievi di campo viene interpretata come quiescente o stabilizzata nelle porzioni intermedie e sommitali mentre nella

porzione inferiore, a valle di Via Vecchia di Frabosa, sono osservabili fenomeni deformativi superficiali tipo creep o colata a carico di ciò che rimane del relativo accumulo. Per la frana meridionale un monitoraggio inclinometrico effettuato da ARPA ha evidenziato possibili fenomeni deformativi stagionali, di modesta entità e concentrati entro i primi 4 m di profondità, nei settori intermedi e superiori. Tali deformazioni sono confermate da spostamenti osservati su una rete di caposaldi topografici e lesioni su fabbricati esistenti. Nella porzione inferiore non vi sono evidenze di fenomeni attivi significativi anche se le condizioni di stabilità, a livello dei depositi superficiali, possono cautelativamente essere ricondotte ad una condizione prossima all'equilibrio limite.

Il riconoscimento di condizioni di elevata pericolosità geomorfologica con perimetrazioni di frana gravanti in particolar modo sull'imbocco ovest della galleria S Lorenzo ha portato, in sede di progettazione definitiva, allo studio di alcune possibili varianti di tracciato la cui ubicazione è rappresentata nella stessa scheda di Figura 4.1. Fermo restando i punti di inizio e fine intervento, dopo aver confrontato il tracciato di progetto preliminare con una possibile variante posta a nord ed una posta a sud, l'esito delle indagini geognostiche eseguite in fase di progettazione definitiva ha portato a scegliere la variante nord, essendo quella che in zona d'imbocco intercetta il substrato marnoso a minore profondità e contestualmente evita l'interferenza planimetrica con le perimetrazioni di frana censite in bibliografia e riscontrate anche dai rilievi di campo.

Per maggiori dettagli sull'argomento si rimanda alla Relazione Geologica.

Nessun fenomeno franoso in atto o potenziale interessa il tratto compreso fra inizio intervento e l'attraversamento del Fiume Ellero dove sussiste una bassa pericolosità geomorfologica.

In corrispondenza del ponte sul Rione Borgato in sponda destra del Torrente Ermena è censita una perimetrazione di frana che nella maggior parte della documentazione bibliografica consultata è di tipo indefinito e quiescente, mentre nel recente aggiornamento delle schede SIFRAP di ARPA (marzo 2019) risulta essere una frana per scivolamento o traslativa potenzialmente attiva, almeno nella porzione sommitale. Questa perimetrazione non interessa direttamente il ponte, dove le indagini effettuate hanno riscontrato il substrato marnoso già a modesta profondità da piano campagna, ma può interessare marginalmente i modesti tratti di viabilità che in sponda destra collegano l'opera in progetto alla SS28 tramite una rotatoria.

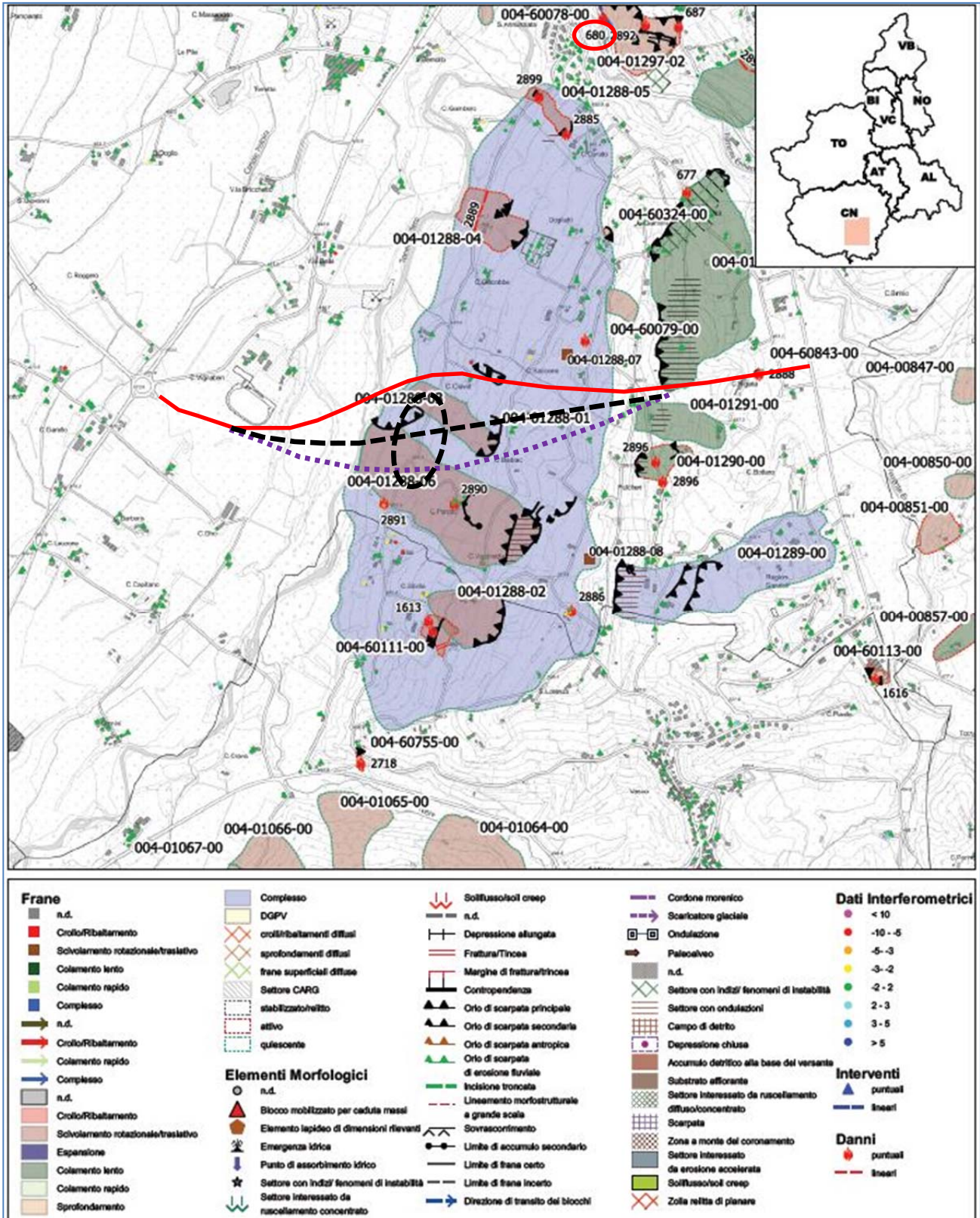


Figura 4.1 Scheda SIFRAP con indicazione del tracciato stradale di progetto definitivo (linea continua rossa). Tratteggiato nero la soluzione di progetto preliminare con l'area impegnata dallo svincolo. Puntinato viola la variante sud. All'estremo nord della carta la posizione del ponte sul Rione Borgato

4.4 IDROGEOLOGIA

I rilevamenti piezometrici evidenziano come i depositi alluvionali antichi in sponda sinistra del Fiume Ellero siano sede di una falda idrica posta a circa 4-5 metri da p.c. drenata dall'incisione del corso d'acqua. In alveo è attesa una falda a piano campagna il cui andamento segue quello delle piene. La permeabilità dei depositi alluvionali antichi è media; elevata per i depositi più grossolani in alveo.

Lungo il versante ovest della collina di S Lorenzo i sondaggi posti fra la fine del viadotto e l'imbocco della galleria hanno evidenziato una falda, contenuta nelle sabbie limose del Cassano Spinola che, sostenuta dal sottostante substrato marnoso, si attesta a profondità variabile fra 1-4 m ma che stagionalmente si spinge sino a piano campagna con anche una fuoruscita spontanea dai piezometri installati. La presenza d'acqua a modesta profondità è confermata da periodici ristagni idrici, da alcuni piccoli pozzi usati a scopo agricolo e da una rete di fossi e canali di drenaggio, naturali e artificiali nei quali molto spesso, anche durante il periodo estivo, è presente un deflusso idrico per quanto modesto, o acqua stagnante. La permeabilità è medio bassa per l'abbondante frazione fine presente.

Una falda posta a circa 4 m da p.c., ma che in occasione degli eventi meteorici più intensi può giungere a piano campagna, si riscontra nelle alluvioni terrazzate sabbioso limose all'imbocco est della galleria, anche in questo caso sostenuta dal substrato marnoso impermeabile. La permeabilità delle alluvioni terrazzate è medio bassa per l'abbondante frazione fine presente.

Lungo il tratto in galleria tutti i piezometri installati hanno evidenziato la presenza di una falda idrica che interessa sia le arenarie della Formazione di Lequio, da poco a mediamente permeabili per fratturazione e porosità, sia le poco permeabili marne di S. Agata Fossili. Il livello idrico misurato rimane al di sopra della galleria con un battente che raggiunge punte massime di circa 40 m in calotta nei settori centrali. Negli scavi in sotterraneo saranno quindi da attenersi condizioni di umidità o stllicidio nei termini manosi, e stllicidio intenso sino a locali venute concentrate nelle arenarie.

Non sono censite sorgenti entro e nell'intorno dell'asse stradale in progetto.

Sulle sponde del torrente Ermena è stata riscontrata una falda a circa 4 m da p.c. rapidamente drenata dall'incisione del corso d'acqua. Le alluvioni in alveo hanno permeabilità alta, i depositi alluvionali terrazzati presenti lungo le sponde hanno permeabilità media, mentre il sottostante substrato marnoso ha permeabilità bassa.

In destra idrografica una sorgente è censita a SE del ponte sull'Ermena senza alcuna possibile interferenza diretta con i lavori. La sua presenza conferma però condizioni di falda a modesta profondità in seno ai depositi alluvionali

terrazzati, proprio laddove è censita una perimetrazione di frana e dove il substrato marnoso è disposto a franapoggio. Informazioni bibliografiche riportano la presenza di trincee drenanti lungo il medesimo versante.

La Tabella 4.1 riassume i principali rilievi di falda effettuati in corrispondenza dei piezometri installati nel corso dei sondaggi eseguiti nel 2019, mentre la Tabella 4.2 i rilievi piezometrici risultanti dalle colonne stratigrafiche delle indagini eseguite nel 2003 in sede di progetto preliminare. La Tabella 4.3 riassume i valori di permeabilità attribuiti ai terreni in funzione dei risultati delle prove in sito e di laboratorio condotte.

INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO. MISURE ANNO 2019										
Sondaggio	Ubicazione	01-ago	22-ago	28-ago	06-set	12-set	19-set	25-set	03-ott	10-ott
S02-Pz	Sx Ellero	5.73	5.21	4.82	4.39	3.97	3.92	3.44	3.41	3.40
S05-Pz	Imbocco W galleria	4.21	4.11	4.15	4.19	4.23	4.18	4.18	4.26	4.35
S05ter-Pz	Imbocco W galleria	0.10	pc	pc	pc	pc	0.1	0.1	0.2	0.31
S07-Pz	Galleria									24.00
S08-Pz	Galleria		71.85	71.72	71.98	72.09	72.25	72.58	72.81	73.00
S09-Pz	Galleria								20.23	20.20
S10-Pz	Imbocco E galleria	4.21	5.03	5.12	5.34	5.55	5.69	5.45	5.61	5.75
S11-Pz	Ponte Ermena	3.58	4.53	4.70	4.89	4.99	4.88	4.84	5.95	5.10

Tabella 4.1 Livelli di falda (m. da p.c.) sui piezometri di progetto definitivo (2019)

INDAGINI DI PROGETTO PRELIMINARE 2003			
Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	Livello di falda (m da p.c.)
S1 (2003)	25	Sinistra Ellero	4.2
S2 (2003)	25	Imbocco W galleria	2.1
S3 (2003)	25	Imbocco W galleria	4.3
S4 (2003)	25	Imbocco E galleria	3.8

Tabella 4.2 Livelli di falda (m. da p.c.) sui piezometri di progetto preliminare (2003)

Unità	Permeabilità	K (m/s)
Alluvioni degli alvei attuali	Per porosità	1.00E-03
Alluvioni terrazzate	Per porosità	1.00E-05
Alluvioni antiche	Per porosità	6.00E-05
Argille grigio azzurre	Per porosità	1.00E-08
Cassano Spinola	Per porosità	5.00E-06
Marne S Agata	Per porosità e subordinatamente fratturazione	5.00E-07
Lequio	Per porosità e fratturazione	5.00E-07
Lequio fratturata	Per porosità e fratturazione	8.00E-07

Tabella 4.3 Valori di permeabilità attribuiti ai terreni

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Le indagini geognostiche ricadenti in corrispondenza e nell'immediato intorno del sedime progettuale sono state suddivise in:

- indagini pregresse, relative ad altri lavori o a precedenti fasi progettuali;
- indagini specificamente eseguite in sede di progettazione definitiva nella primavera del 2019.

Le relative ubicazioni sono riportate nella planimetria allegata al progetto, elaborato 02.07.P00_GE00_GEN_PU01. Al progetto sono inoltre allegate le stratigrafie dei sondaggi ed i risultati delle prove in sito e di laboratorio, cui si rimanda per maggiori dettagli.

Le indagini pregresse, trattate nel presente capitolo, sono le seguenti:

- n° 4 sondaggi ed una tomografia elettrica realizzati lungo l'asse stradale nel 2003 in sede di progettazione preliminare;
- n° 8 sondaggi eseguiti da Arpa e Protezione Civile nel 2011 ed ubicati lungo il versante occidentale della dorsale di S. Lorenzo, a monte delle opere;
- n° 6 sondaggi commissionati da Snam rete Gas nel 2015 lungo il versante orientale della stessa dorsale;
- n° 1 stratigrafia di pozzo per acqua posizionato sul versante orientale a nord rispetto all'imbocco reperito presso la banca dati Ispra.

Non sono state reperite indagini geognostiche pregresse ricadenti in prossimità del Ponte di Rione Borgato sull'Ermèna.

5.1 INDAGINI 2003 DI PROGETTO PRELIMINARE

Nel settembre 2003 sono stati eseguiti dalla ditta Abrate di Carmagnola (To) n° 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo profondi 25 m ciascuno per verificare la stratigrafia lungo l'asse stradale in progetto fra l'attuale termine della tangenziale di Mondovì e la S.S. 28. Dalle colonne stratigrafiche risulta che le perforazioni sono attrezzate con piezometri a tubo aperto fessurati a partire dalla profondità di circa 3,00 m da p.c.

I sondaggi sono corredati da n 50 prove penetrometriche tipo SPT in avanzamento, mentre i fori sono attrezzati con piezometri a tubo aperto in PVC protetti da chiusino metallico. Non risulta, dalla documentazione allegata al progetto preliminare, che siano stati prelevati campioni in fase di perforazione.

INDAGINI DI PROGETTO PRELIMINARE 2003						
Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	Strumentazione	Livello di falda (m da p.c.)	Prove in sito	Campioni
S1 (2003)	25	Sinistra Ellero	Piezometro	4.2	n 16 SPT	NO
S2 (2003)	25	Imbocco W galleria	Piezometro	2.1	n 9 SPT	NO
S3 (2003)	25	Imbocco W galleria	Piezometro	4.3	n 16 SPT	NO
S4 (2003)	25	Imbocco E galleria	Piezometro	3.8	n 9 SPT	NO

Tabella 5.1 riassume i dati essenziali dei sondaggi eseguiti nel 2003, mentre in Tabella 5.2 e Figura 5.1 sono riportati i risultati delle prove penetrometriche; laddove si sono raggiunte condizioni di rifiuto si è arbitrariamente assegnato numero di colpi pari a 100.

INDAGINI DI PROGETTO PRELIMINARE 2003						
Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	Strumentazione	Livello di falda (m da p.c.)	Prove in sito	Campioni
S1 (2003)	25	Sinistra Ellero	Piezometro	4.2	n 16 SPT	NO
S2 (2003)	25	Imbocco W galleria	Piezometro	2.1	n 9 SPT	NO
S3 (2003)	25	Imbocco W galleria	Piezometro	4.3	n 16 SPT	NO
S4 (2003)	25	Imbocco E galleria	Piezometro	3.8	n 9 SPT	NO

Tabella 5.1 Sondaggi a carotaggio continuo di progetto preliminare

Il sondaggio S1(2003) in sinistra idrografica dell'Ellero riscontra 5,7 m di depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi limosi poggianti su marne e marne argillose di S. Agata da consistenti a moderatamente consistenti con intercalazioni di sabbie e ghiaie di spessore da centimetrico a metrico.

Il sondaggio S2 in destra idrografica dell'Ellero attraversa un deposito di ciottoli e blocchi in matrice ghiaioso sabbioso limosa attribuito all'unità di Cassano Spinola poggiate a circa 4,5 m da p.c. su marne litoidi o sublitoidi con intercalati subordinati livelli sabbioso arenacei (Marne di S. Agata).

Il sondaggio S3 ricade a margine della Via Vecchia di Frabosa a monte dell'S2 ed in prossimità dell'imbocco ovest della galleria; al di sotto di circa 1 m di riporto vede un potente complesso attribuibile al Cassano Spinola costituito da una facies superficiale limoso sabbiosa con ghiaie, plastica e da poco a mediamente consistente, passante a 11,80 m ad una facies sabbioso ghiaiosa con ciottoli in matrice limoso argillosa. Il substrato marnoso arenaceo di S. Agata si attesta a 20,2 m da p.c.

Il sondaggio S4 ricade sul versante orientale della dorsale in prossimità dell'imbocco est della galleria. Al di sotto di una coltre di riporto vede la presenza di argille limose che si spingono sino a 5,5 m da p.c. direttamente in appoggio, con un contatto sfumato potente circa 1 m, sul substrato marnoso arenaceo di S. Agata.

I rilievi di falda effettuati dopo l'installazione dei piezometri rilevano in tutti i casi, nel settembre 2003, livelli idrici compresi fra 2 m e 4 m da p.c. circa.

Dal confronto fra le stratigrafie e i risultati delle prove penetrometriche si osserva come mediamente il numero di colpi nel sondaggio S1 sia compreso fra 30-60 lungo tutto lo sviluppo, sia nei depositi alluvionali che nelle sottostanti marne. In S2 nel Cassano Spinola gli SPT sono variabili fra 57 colpi e rifiuto, e vanno generalmente a rifiuto nel substrato marnoso. In S3 nel Cassano Spinola il numero di colpi è tendenzialmente e linearmente crescente con la profondità; nella più superficiale facies limoso sabbiosa si ha numero di colpi compreso fra 4 – 15 che sale poi a 25-45 nella sottostante facies ghiaiosa sabbiosa; al raggiungimento del substrato si hanno condizioni di rifiuto. In S4 nelle argille limose superficiali si ha numero di colpi variabile fra 25-50 colpi cui fanno seguito condizioni di rifiuto al raggiungimento del substrato marnoso.

Sondaggio	Profondità (m)	SPT (N2+N3)	Sondaggio	Profondità (m)	SPT (N2+N3)
S1	1,50	100	S3	1,50	9
	3,00	100		3,00	10
	4,50	16		4,50	14
	6,00	28		6,00	5
	7,50	44		7,50	8
	9,00	64		9,00	16
	10,50	66		10,50	14
	12,00	65		12,00	25
	13,50	35		13,50	28
	15,00	30		15,00	48
	16,50	100		16,50	38
	18,00	58		18,00	37
	19,50	42		19,50	46
	21,00	58		21,00	100
22,50	36	22,50	100		
24,00	44	24,00	100		
S2	1,50	57	S4	1,50	48
	3,00	100		3,00	34
	4,50	100		4,50	23
	6,00	80		6,00	100
	7,50	100		7,50	100
	9,00	100		12,00	100
	15,00	100		15,00	100
	18,00	100		18,00	100
	24,00	100		24,00	100

Tabella 5.2 Risultati prove SPT nei sondaggi di preliminare

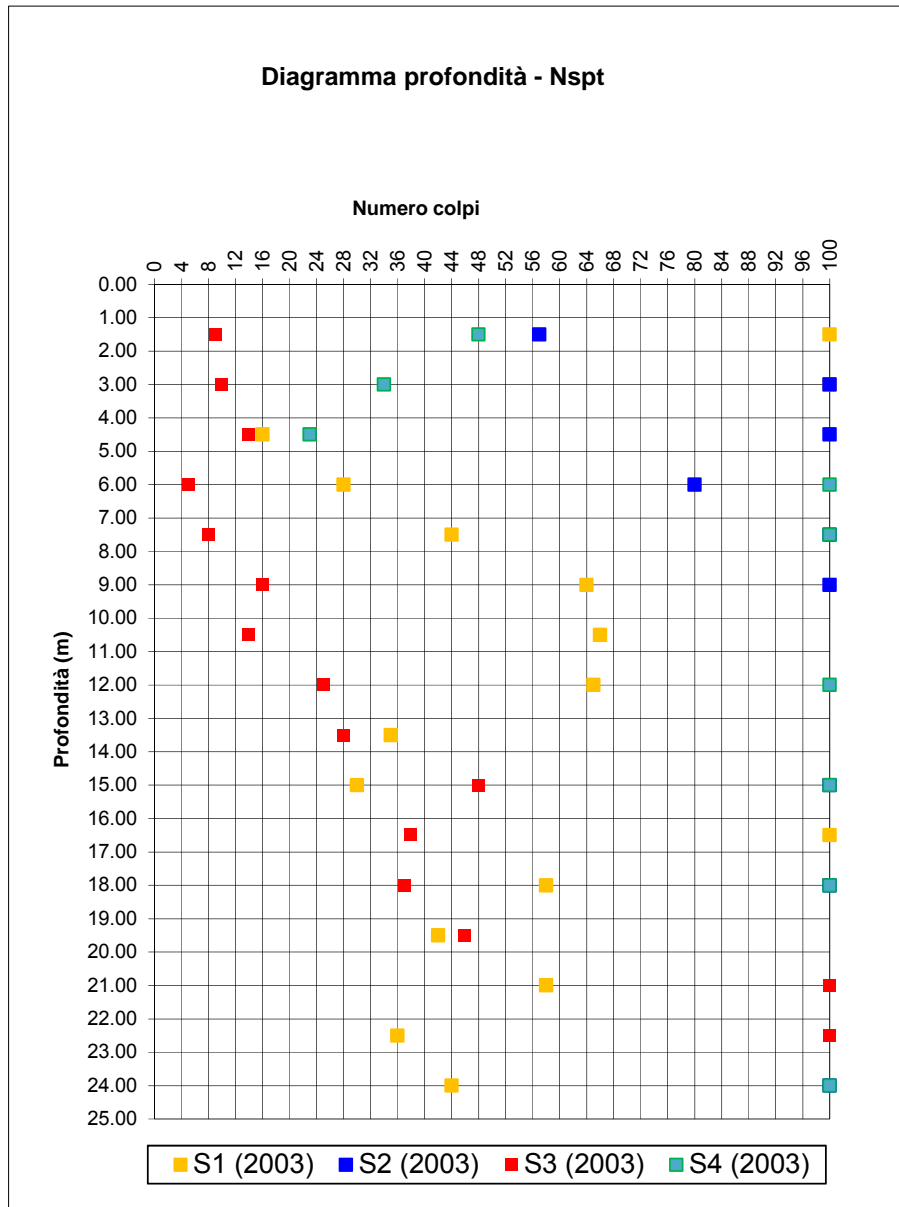


Figura 5.1 Diagrammi delle prove penetrometriche sui sondaggi del 2003

Ad integrazione dei sondaggi lungo l'intero tracciato di progetto preliminare della galleria S. Lorenzo e del Viadotto Ellero è stata eseguita una tomografia elettrica utilizzando uno stendimento da 2.172 m articolato su 182 elettrodi intervallati di 12 m. L'interpretazione dell'indagine, che rimane leggermente più a sud del tracciato di progetto definitivo, evidenzia eteropie laterali e verticali di resistività imputabili alla diversa natura litologica dei materiali, a possibili discontinuità strutturali (di cui sul terreno ed in bibliografia a livello locale non vi è evidenza) e/o al diverso grado di saturazione. In Figura 5.2 sono riportati i risultati dell'acquisizione in termini di resistività, dove i terreni più resistivi sono tendenzialmente correlabili con depositi arenacei (colori rosso, giallo e verde) mentre quelli conduttivi, marnosi e/o a maggiore saturazione hanno colorazione azzurra. In estrema sintesi, e preso atto che la geometria ricostituita può risultare comunque distorta e dev'essere valutata più in senso relativo/indicativo che assoluto,

nell'attraversamento dell'Ellero l'indagine riporta diffusi e indistinti terreni conduttivi. Lungo la galleria i termini marnosi sembrano prevalere agli estremi del profilo e quelli arenacei in profondità attorno al tratto centrale, un modello generale questo sostanzialmente confermato dalle indagini eseguite in sede di progettazione definitiva. Da notare in particolare la presenza di un brusco contatto laterale resistivo/conduittivo/resistivo in corrispondenza della zona di crinale.

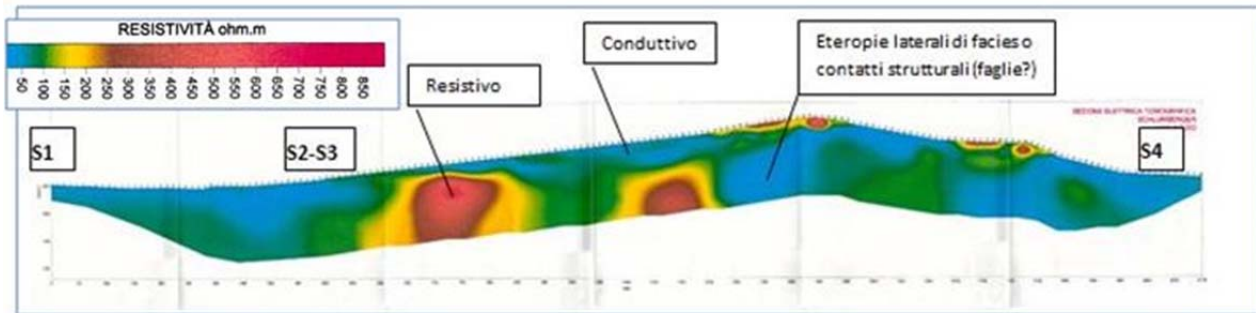


Figura 5.2 Sezione geoelettrica di preliminare

Come anticipato non sono disponibili, nell'ambito di questa campagna, prove di laboratorio geotecnico su campione.

5.2 INDAGINI E MONITORAGGI ARPA 2011

Nel febbraio 2011 l'Ufficio di Protezione Civile del Comune di Mondovì in collaborazione con ARPA Piemonte ha realizzato, sul versante occidentale della collina di S Lorenzo, n 6 sondaggi allo scopo di monitorare la stabilità delle aree dove ricadono le cascine Perotti e Vacchetta. Le indagini sono state eseguite dalla ditta Citiemme di Torino e ricadono a SE dell'imbocco ovest della galleria S Lorenzo, a monte della Via Vecchia di Frabosa.

I sondaggi, riepilogati in Tabella 5.3, sono profondi 15 m e suddivisi in 3 coppie, ciascuna delle quali attrezzata con un inclinometro posto in foro realizzato a carotaggio continuo e un piezometro a tubo aperto in un contiguo foro a distruzione di nucleo.

Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	Tipologia di esecuzione	Strumentazione	Tetto substrato (m)	Livello di falda (m da p.c.) ad inizio misure	Escursione massima fra 28.4.2011 e 7.11.2013
AP1	15 m	Versante W	Distruzione	Piezometro	6,7	Strumento abbandonato	
AS1	15 m	Versante W	Carotaggio	Inclinometro	6,7		
AP2	15 m	Versante W	Distruzione	Piezometro	6,9	7,04	2,9
AS2	15 m	Versante W	Carotaggio	Inclinometro	7		
AP3	15 m	Versante W	Distruzione	Piezometro	7,3	10,84	0,96
AS3	15 m	Versante W	Carotaggio	Inclinometro	7,5		

Tabella 5.3 Sondaggi ARPA 2011 sul versante ovest della collina di S Lorenzo

Le stratigrafie sono state restituite sia per le perforazioni a carotaggio sia per quelle a distruzione.

In tutti i casi la successione dei terreni è simile evidenziando un deposito, attribuito dagli scriventi alla Formazione di Cassano Spinola, potente circa 7 m e poggiante su di un substrato marnoso siltoso con intercalazioni di sabbie e presenza di conchiglie fossili (Formazione di S. Agata fossili). All'interno del Cassano Spinola si riscontra una facies limoso argillosa sabbiosa più superficiale che si estende da p.c. a circa 4-5 m, seguita da una facies ghiaiosa o sabbiosa da 4-5 m a 7 m da p.c.

Le prove con pocket penetrometer eseguite nei tratti a carotaggio rilevano valori medi di 2 Kg/cm² nel Cassano Spinola limoso argilloso sabbioso e 5-10 Kg/cm² (talvolta >15) nel substrato marnoso, ad indicare un deposito consistente ma non litoide o sublitoide, come si dichiara invece nelle indagini del 2003.

Non risulta siano state eseguite prove in sito. Dalle stratigrafie risulta il prelievo di 2 campioni indisturbati, rispettivamente in AS1 ed AS3, di cui non sono stati forniti dati.

Il monitoraggio piezometrico è stato illustrato al paragrafo precedente e rileva una falda oscillante fra il tetto del substrato e il letto del Cassano Spinola, con una variazione stagionale di circa 3 m ed una rapida risposta dei livelli idrici alle piogge più intense.

Il monitoraggio inclinometrico condotto con cadenza annuale o semestrale dal 2012 al 2019 ha evidenziato un primo modesto spostamento nella primavera del 2015 sull'inclinometro AS1 a 4 m da p.c., successivamente incrementatosi nelle letture successive sino ad uno spostamento totale cumulato di 2,8 cm in 7 anni. In AS2 le misure del 2018 hanno per la prima volta evidenziato uno spostamento di circa 1 cm a 2,8 m da p.c. senza alcuna ulteriore evoluzione nel corso del 2019. In AS3 non si segnalano spostamenti apprezzabili.

Ad integrazione degli inclinometri sono stati installati, in prossimità dell'area in studio, n 7 caposaldi topografici. Di questi nell'intervallo di tempo compreso fra il 2012 e il 2019 i caposaldi 1 – 2 – 4 – 7 hanno evidenziato spostamenti complessivi, spesso discontinui, compresi fra 1 cm e 7 cm mentre i caposaldi 3 – 5 – 6 non hanno evidenziato spostamenti apprezzabili.

Gli strumenti di monitoraggio di cui sopra ricadono in una perimetrazione di frana censita dal SIFRAP intercettata (in galleria) dal tracciato di progetto preliminare. Tale perimetrazione di frana viene evitata/aggirata nella soluzione di tracciato sviluppata in sede di progetto definitivo.

5.3 INDAGINI SNAM RETE GAS 2016

Nel marzo 2016 Snam rete gas nell'ambito di lavori di allacciamento e rifacimento della rete del metanodotto fra i Comuni di Mondovì e Monastero di Vasco ha eseguito n 12 sondaggi a carotaggio continuo, di profondità variabile fra 15 m e 30 m, sul versante orientale della collina di S Lorenzo allo scopo di verificare la profondità del substrato

integro entro al quale posare, "al riparo da possibili dinamiche superficiali", le condotte. I sondaggi, pur se relativamente disassati rispetto alle opere in progetto, sono comunque utili per meglio comprendere l'assetto stratigrafico di questa porzione di territorio.

In alcuni casi negli orizzonti superficiali sono state eseguite prove SPT mentre non risultano disponibili informazioni relative a campioni geotecnici.

Le stratigrafie riportano quella che nella documentazione Snam viene identificata come una coltre colluviale limoso argillosa di spessore variabile fra 3 m e 8 m circa poggiante su una siltite marnoso arenacea grigia con presenza di livelli arenacei centimetrici e decimetrici e conchiglie. Le prove penetrometriche eseguite nella coltre riportano numero di colpi, quando diverso dal rifiuto, variabile fra 30 e 80.

INDAGINI SNAM RETE GAS 2016				
Sondaggio	Profondità (m)	Ubicazione	Tetto substrato (m)	Prove in sito (n°)
SS1	20	Versante E	8,4	
SS2	20	Versante E	5,1	
SS3	30	Versante E	7,5	
SS4	30	Versante E	3	
SS5	20	Versante E	5,7	
SS6	20	Versante E	4,5	
SS7	20	Versante E	4,5	
SS8	20	Versante E	4,5	
SS9	20	Versante E	8,4	
SS11	15	Versante E	6,3	3
SS12	25	Versante E	7,6	3
SS13	25	Versante E	7,3	3

Tabella 5.4 Indagini Snam anno 2016 sul versante orientale della collina di S. Lorenzo

5.4 BANCA DATI ISPRA

La consultazione della banca dati ISPRA ha portato al riscontro della stratigrafia di un pozzo per acqua profondo 270m ubicato sul versante orientale della collina di S. Lorenzo, alcune decine di metri a nord dell'imbocco della galleria. La successione stratigrafica descritta riporta la presenza di 30 m di alluvioni seguite da 120 m marne grigie cui soggiacciono, fino a 270 m da p.c., alternanze di marne grigie e quarziti. La falda è indicata a profondità non inferiore a 150 m in seno agli orizzonti quarziticci con portata massima 2 l/s.

6 INDAGINI DI PROGETTO DEFINITIVO 2019

La campagna d'indagini finalizzata alla progettazione definitiva è stata eseguita fra la primavera e l'autunno del 2019 ed affidata direttamente da Anas alla ditta Tecno In di S. Donato Milanese. Le attività eseguite comprendono:

- 1 n° 14 sondaggi a carotaggio continuo eseguiti con sonda oleodinamica Comacchio 1200 montata su trattore. Di questi n 4 sono attrezzati con inclinometro, n 8 con piezometro 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.

Nei paragrafi seguenti sono commentati i risultati ottenuti per le diverse tipologie d'indagine

6.1 SONDAGGI

I sondaggi eseguiti nel 2003 in sede di progetto preliminare avevano evidenziato come i maggiori spessori (circa 20 m) dei terreni sabbioso limosi del Cassano – Spinola, potenzialmente coinvolti in fenomeni deformativi ed in appoggio sul sottostante substrato delle marne di S. Agata, fossero attesi proprio in corrispondenza dell'imbocco ovest della galleria. In sede di progettazione definitiva si sono quindi prese in considerazione due possibili varianti di tracciato, spostate rispettivamente a sud e nord le quali, fermo restando i punti di inizio e fine intervento, potessero garantire una minore pericolosità geomorfologica e un migliore modello stratigrafico (Figura 6.1).

Pertanto in una prima fase svoltasi nella primavera del 2019 sono stati eseguiti i sondaggi S5 – S5bis – S5ter ed S13, disposti lungo un allineamento nord – sud parallelo a via Vecchia di Frabosa, al fine di valutare quale tracciato fosse in grado di evitare le perimetrazioni di frana e/o imboccare con minori spessori delle coperture. Ottenuti ed interpretati i risultati dei carotaggi, unitamente a quelli dell'indagine geofisica concentrata nelle medesime aree, i rimanenti sondaggi sono stati realizzati lungo il nuovo tracciato individuato (variante nord) secondo un allineamento disposto circa est – ovest .

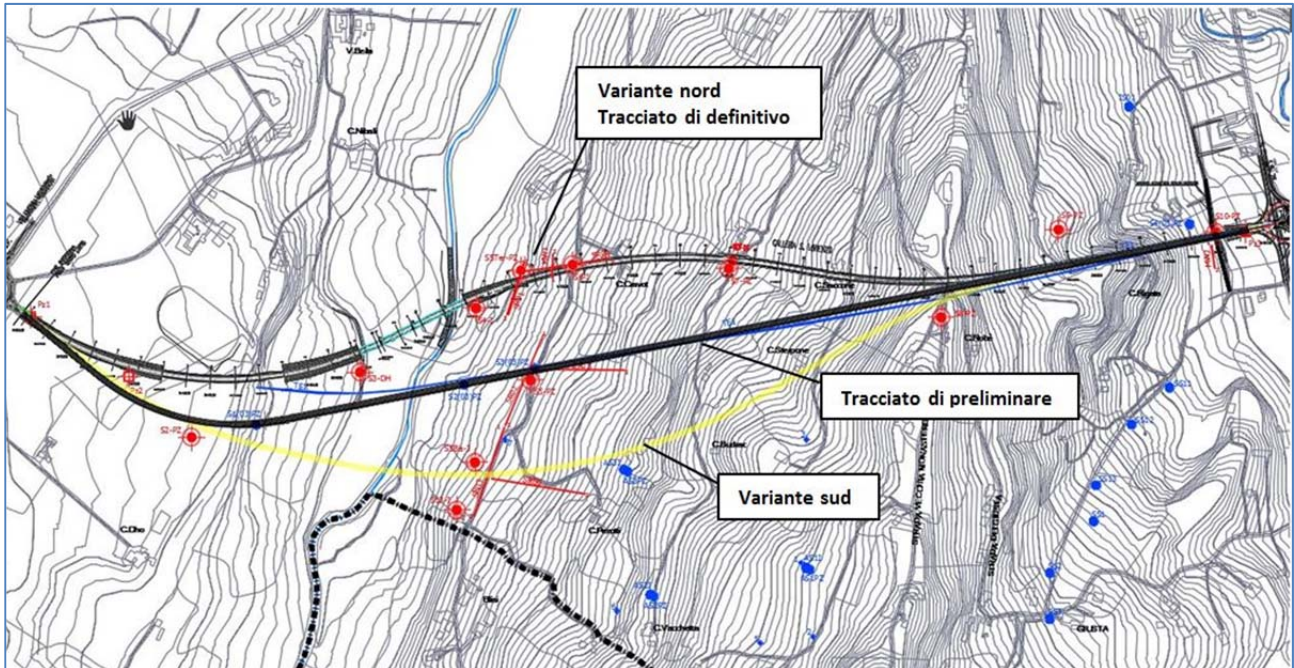


Figura 6.1 Varianti di tracciato studiate in sede di progettazione definitiva. Alla soluzione di preliminare è stata preferita la variante nord in quanto ritenuta migliorativa dal punto di vista stratigrafico e geomorfologico. In rosso sono riportate le indagini di progetto definitivo ed in blu quelle pregresse

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. 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 seguente riepiloga i sondaggi eseguiti con relative profondità, ubicazione, condizionamento, livello di falda, 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.

Il sondaggio S2 in sponda sinistra dell'Ellero riporta circa 4 m di coltre alluvionale cui soggiacciono sabbie eterogenee e blocchi del Cassano Spinola sino a 12 m circa, cui fa seguito un substrato attribuito alle marne di S. Agata.

I sondaggi S3 ed S4 ricadono in corrispondenza del ponte sull'Ermena ed evidenziano una sottile coltre alluvionale cui soggiace un substrato costituito rispettivamente da argille grigie consistenti, Cassano Spinola e marne di S. Agata in sinistra idrografica, e direttamente dalle marne di S. Agata in destra. Il riscontro delle argille grigie in S3 è ben congruente con la presenza di un affioramento cartografato poco più a valle lungo l'alveo (vedi carta geologica) e con la presenza di una vecchia cava a monte della SP5 da cui si estraeva materiale per la produzione di laterizi.

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 6.1 Riepilogo sondaggi con relative prove in sito e campioni prelevati. PZ = Piezometro. DH = Down Hole. I = Inclinometro. CI = campione indisturbato. CR = campione rimaneggiato. CL = campione litoide. Perm = prova di permeabilità. PRESS = prova pressiométrica. DIL = prova dilatometrica

Sul versante destro i sondaggi S5-S5bis-S5ter-S13-S6 hanno indagato la zona d'imbocco della galleria mettendo in luce una diffusa presenza di sabbie e limi del Cassano Spinola poggianti, a profondità variabile fra 10-20m da p.c., sulle marne di S Agata. Come già anticipato il tracciato di progetto definitivo è stato sviluppato in variante (in questo tratto) rispetto al preliminare privilegiando i settori dove lo spessore del Cassano Spinola è minore (10 m nelle soluzioni in variante rispetto ai 20 m del preliminare) al contempo evitando di intercettare (con la soluzione scelta) le perimetrazioni di frana riconosciute sul terreno, e riportate in bibliografia, che interessano lo stesso Cassano Spinola.

Lungo la galleria sono stati realizzati i sondaggi S7-S8-S9 che hanno raggiunto la profondità massima di ben 120 m da p.c. Essi hanno riscontrato quelle che sono state interpretate come due diverse unità stratigrafiche:

- un'unità più superficiale prevalentemente marnosa e subordinatamente arenacea attribuita alle marne di S Agata;
- un'unità più profonda prevalentemente arenacea e subordinatamente manosa attribuita alla formazione di Lequio.

Le stratigrafie ed i campioni prelevati mostrano in tutti i casi terreni molto eterogenei e complessi dove variazioni laterali e verticali anche repentine sono piuttosto comuni. Tali variazioni riguardano la natura litologica (marne, marne argillose, marne calcaree, sabbie, ghiaie, arenarie, conglomerati ecc), il grado di fratturazione, la consistenza

ed il grado di cementazione, tanto che le carote ed i campioni prelevati, pur a parità di unità litologica, sono descritti ora come terrosi ora come litoidi o più spesso pseudolitoidi. Nel valutare il grado di cementazione delle unità litologiche si deve anche tener conto di una possibile soggettività nella descrizione e del possibile (e difficilmente valutabile) grado di disturbo arrecato in fase di sondaggio entro materiali comunque complessi.

Per una più attendibile valutazione del grado di cementazione si è seguita con attenzione la fase di terebrazione dei sondaggi. Nel corso del sondaggio S8 il sondatore ha riferito una sostanziale stabilità del foro fino alla massima profondità raggiunta (120 m) da cui si può dedurre (si veda anche le fotografie delle cassette) un materiale tutto sommato di buone caratteristiche, spesso litoide o pseudolitoide. Per contro nel corso del sondaggio S7 profondo 60 m vi sono stati problemi di stabilità del foro che hanno richiesto l'utilizzo di un priverestimento metallico, tanto che la velocità media di avanzamento è stata nell'ordine di 5 m/g. Nelle stratigrafie sono inoltre descritti alcuni orizzonti brecciati la cui posizione può essere correlata con le variazioni laterali di resistività evidenziate dall'indagine tomografica del 2003.

Il sondaggio S10 posizionato all'imbocco est è ben congruente con i sondaggi Snam rete Gas e riporta una coltre superficiale limoso argillosa potente circa 10 m in appoggio sul substrato delle marne di S Agata.

Come anticipato nel capitolo relativo all'idrogeologia i piezometri hanno riscontrato una falda che nei tratti all'aperto si pone spesso a modesta profondità. In particolare in zona imbocco ovest della galleria rimane assai prossima al piano campagna e talvolta, a seguito delle precipitazioni più intense, l'acqua sgorga spontaneamente dai piezometri stessi. Lungo la collina di S. Lorenzo in galleria la falda si attesta 20-40 m sopra la livelletta stradale mettendo in luce una condizione di saturazione, seppur con una permeabilità (dedotta dalle prove Lugeon in foro) complessivamente modesta.

I sondaggi S11 ed S12 ricadono in corrispondenza del Ponte sull'Ermene nel Rione Borgato ed evidenziano un modesto spessore di materiale alluvionale (5 m in S12) o di riporto (1 m in S11) in appoggio sul substrato marnoso di S Agata.

I valori di RQD sono condizionati ed influenzati dalla complessa natura dei materiali attraversati (ora terrosi ora pseudolitoidi) e come tali hanno, o localmente possono avere, un'attendibilità modesta. Fermo restando questi limiti i valori riscontrati in corrispondenza dei sondaggi e riportati nelle colonne stratigrafiche in funzione della profondità sono riepilogati in tabella seguente.

Sondaggio	Prof (m)	RQD (%)	Sondaggio	Prof (m)	RQD (%)	Sondaggio	Prof (m)	RQD (%)	Sondaggio	Prof (m)	RQD (%)
S3	32,5-33,5	50	S7	7-11,5	75-100	S8	22-31	75-100	S11	1-4	0
	33,5-35	75		11,5-15	25-50		31-32	50		4-6	80
S4	4-8	75-100		11,5-24	75-100		32-42	0-25		6-8	0-30
	8-9	50-75		24-27	25-50		42-43	50		8-10	70-80
	9-13	75-100		27-30	75-100		43-102	75-100		10-11	30
	13-14	50-75		30-32	0		102-104	50		11-15.5	0
	14-30	75-100		32-38	75-100	104-120	75-100	15.5-20	50-65		
S5ter	0-10	75-100		38-39	0	S9	3-70	75-100			
	10-20	25-50		39-44,5	75-100	S10	11-14,5	50-75			
	20-30	75-100		44,5-46	50		14,5-17,5	25-50			
S6	0-27,5	100		46-51	75-100		17,5-20	75-100			
	27,5-30	0	51-58	50							
			58-60	0-25							

Tabella 6.2 Valori medi RQD sondaggi 2019 in corrispondenza delle opere

Da un controllo effettuato sulle cassette si evince come non sempre gli RQD elencati nelle colonne stratigrafiche siano da ritenersi del tutto attendibili, specie nel caso del sondaggio S6 (vedi documentazione fotografica). La Tabella 6.3 riepiloga i valori medi per sondaggio; laddove non è riportato alcun dato significa che il materiale carotato era prevalentemente marnoso argilloso e/o non lapideo.

Sondaggio	Unità	RQD medio (%)	Sondaggio	Unità	RQD medio (%)
S2	S. Agata	-	S7	Lequio	40
S3	S. Agata	-	S8	Lequio	65
S4	S. Agata	70	S9	Lequio	80
S5ter	S. Agata	40	S10	S. Agata	35
S6	S. Agata	35	S11	S. Agata	-
			S12	S. Agata	-

Tabella 6.3 Valori medi RQD sondaggi 2019 in corrispondenza dei sondaggi (rivisti)

6.2 POZZETTI ESPLORATIVI

Alcuni pozzetti esplorativi realizzati con escavatore sono stati eseguiti lungo i tratti all'aperto del tracciato principale e spinti sino alla profondità massima di 2 m. Lo spessore del terreno vegetale indicato in stratigrafia è di 0,2-0,3 m, probabilmente sottostimato vista la vocazione agricola delle aree ed i riscontri dei sondaggi, cui seguono limi argillosi ed argille limose di alterazione dei depositi sottostanti.

Prove di carico con piastra, condotte alla profondità di 0,2 m, mostrano valori di modulo al primo ciclo di carico bassi (circa 5 MPa) che si incrementano al secondo ciclo (20 MPa) evidenziando materiali poco addensati e costipabili. L'umidità naturale è del 25% circa.

Sui campioni prelevati il valore di CBR è compreso fra 6 e 10 indicando terreni generalmente mediocri; l'umidità ottimale alla compattazione è intorno al 12%. Le tabelle seguenti riepilogano stratigrafie e risultati delle prove a in sito e di laboratorio.

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

Tabella 6.4 Stratigrafie e prove di carico con piastra su pozzetto

Pozzetto	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	W opt (%)	Max densità secca (kN/mc)	CBR
PZ1	CR1	0.2-0.6	Alluvioni antiche	Limo	12.5	18.26	10.2
	CR2	1-1.4	Alluvioni antiche	LA	14.5	16.86	6.6
PZ2	CR1	0-1	Alluvioni antiche	LA	11	18.2	9.5
	CR2	1-2	Alluvioni antiche	LA	16.2	16.75	5.9
PZ3	CR1	0.2-0.6	Alluvioni terraz	LA	11.6	18.18	8.6
	CR2	1-1.4	Alluvioni terraz	LA	15	16.5	6.5
PZ4	CR1	0.2-0.6	Alluvioni terraz	LA	12.09	18.05	7.4
	CR2	1-1.4	Alluvioni terraz	LA	16.62	15.6	6.1

CR = Campione rimaneggiato;

Tabella 6.5 Prove di laboratorio su campioni superficiali da pozzetto

6.3 PROVE IN SITO

Come riepilogato in Tabella 6.6 le **prove penetrometriche SPT** riportano numero di colpi generalmente elevato nelle alluvioni (>50 fino a rifiuto) nelle Marne di S. Agata (>40-50 fino a rifiuto) nel Cassano Spinola(50-60) e nelle Argille plioceniche (>70) e valori più contenuti nella porzione superficiale della stessa S Agata e del Cassano Spinola (rispettivamente 26-27 e 12-18).

Nella valutazione di questa informazione si deve tener conto che nei terreni presenti lungo il sedime di progetto le prove SPT (peraltro generalmente confinate entro i primi 15 m da p.c.) possono essere di difficile interpretazione e/o non adeguate alla tipologia di materiale. In particolare nelle alluvioni e nel Cassano Spinola il numero di colpi può essere falsato dalla spiccata eterogeneità del terreno, dalla presenza di materiale grossolano o di intercalazioni fini. Nelle marne di S Agata sono complicate dalla natura litologica e dalla presenza di un certo grado di cementazione. In ogni caso le SPT contribuiscono ad una valutazione seppur qualitativa del grado di consistenza del terreno in sito.

La tabella e figura seguenti riepilogano e diagrammano i valori degli SPT in funzione del sondaggio e della natura litologica del materiale. Come evidenziato dalla tabella non sono state eseguite, a causa della notevole profondità, prove SPT nelle arenarie della Formazione di Lequio.

Sondaggio	Profondità (m)	SPT (n)	Materiale	Sondaggio	Profondità (m)	SPT (n)	Materiale
S02_Pz	3.00	58	Alluvioni antiche	S05bis_I	3.00	25	Cassano S
	9.00	18	Cassano S	S10_PZ	10,6	R	S.Agata
	12,5	27	S.Agata	S12_PZ	6.95	26	S.Agata
	15.00	76	S.Agata		9,95	39	S.Agata
S03_DH	5.10	74	Argille		14.45	58	S.Agata
	S05_PZ	5.00	39	Cassano S	25.85	70	S.Agata
10.00		64	Cassano S	S13_I	5.00	16	Cassano S
12.00		26	Cassano S		10.00	12	Cassano S
15.00		39	Cassano S				
18.00		58	Cassano S				

Tabella 6.6 SPT in funzione dell'unità stratigrafica

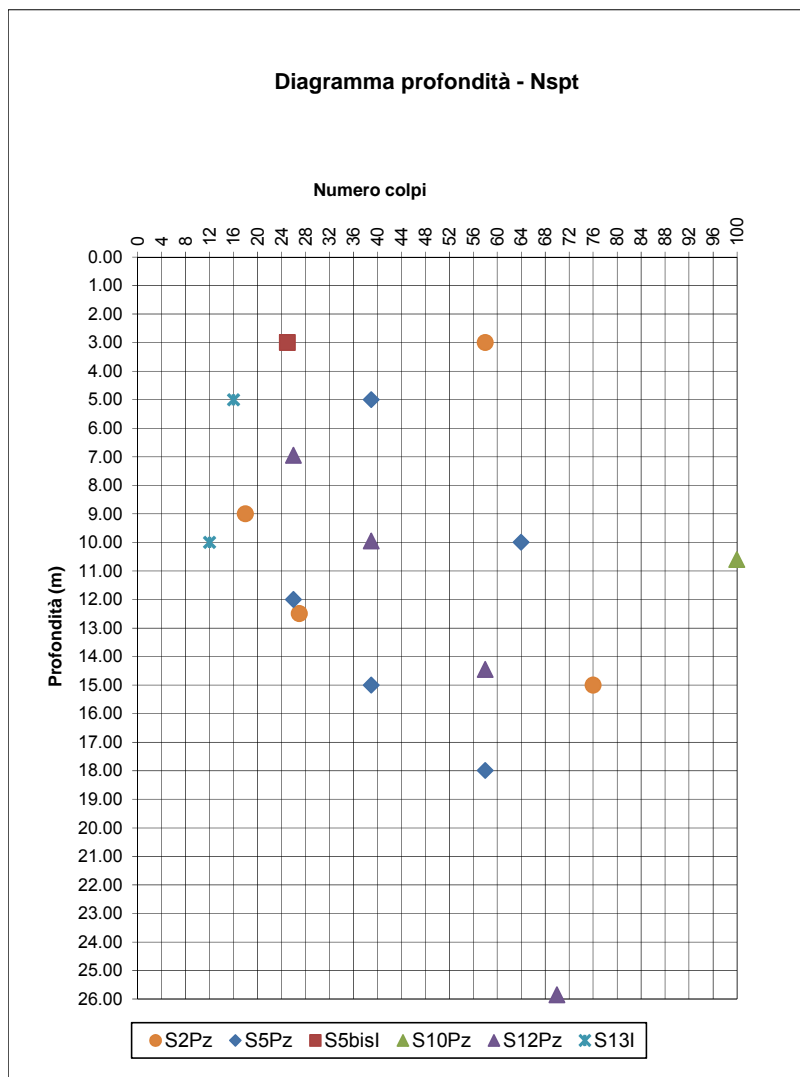


Figura 6.2 SPT in funzione della profondità e del sondaggio

Due **prove pressiometriche** sono state condotte nelle alluvioni terrazzate del sondaggio S10 all'imbocco est della galleria fra le profondità di 3,0 e 7,4 m da p.c., e riportano valori medi del modulo di Young intorno a 20 MPa e della coesione non drenata intorno a 120 kPa.

RISULTATI PROVE PRESSIOMETRICHE						
Sondaggio	Profondità (m)	ID	Unità	Litologia	Modulo Young E (MPa)	Coesione non drenata Cu (kPa)
S10_PZ	3,0-4,5	P01	Alluvioni terrazzate	Sabbia limosa	16.7	166
	6,0-7,4	P02	Alluvioni terrazzate	Limo sabbioso	26.9	113

Tabella 6.7 Risultati prove pressiometriche

Prove dilatometriche sono state eseguite lungo i sondaggi S7-S8-S9-S10 localizzati lungo la galleria naturale interessando sia la Formazione marnosa di S. Agata che quella arenacea di Lequio. Come da tabella seguente la formazione di Lequio riporta modulo di deformazione (Ed) mediamente intorno a 600 MPa e modulo elastico (Ee) di 1.500 MPa, mentre valori più modesti e rispettivamente di 400 MPa e 800 MPa si hanno per le marne di S Agata.

RISULTATI PROVE DILATOMETRICHE							
Sondaggio	Profondità (m)	ID	Unità	Litologia	Ed (Mpa)	Ee (Mpa)	RQD (%)
S07_PZ	57,00	D1	Lequio	Conglomerato	918	2334	50
	51,00	D2	Lequio	Conglomerato	764	1727	75
S08_PZ	95,00	D1	Lequio	Marna	739	1244	75
	85,00	D2	S. Agata	Marna e calcare	15	15	95
S09_PZ	55,00	D1	Lequio	Arenaria ben cementata	663	1125	100
	47,00	D2	Lequio	Arenaria poco cementata	427	873	100
S10_PZ	17,00	D1	S. Agata	Marna	368	510	50
	12,00	D2	S. Agata	Marna	471	1012	75

Tabella 6.8 Risultati prove dilatometriche lungo lo sviluppo della galleria in funzione della litologia e profondità (Ed= Modulo di deformabilità; Ee = Modulo elastico)

Infine alcune prove di permeabilità tipo Lugeon sono state condotte sui sondaggi S7-S8-S9 in galleria interessando prevalentemente l'unità arenacea di Lequio e subordinatamente quella marnosa di S. Agata. La tabella riporta i valori ottenuti in funzione della litologia e del tratto di prova, variabile fra 1 m e 3 m circa. Nelle arenarie di Lequio la permeabilità varia fra 10^{-6} e 10^{-7} m/s mentre nelle marne di S Agata l'unico dato disponibile è di $1,4 \cdot 10^{-7}$ m/s. Sempre nelle marne di S. Agata si dispone anche di una determinazione della permeabilità da prova edometrica da cui risulta un più modesto valore di $k = 2,7 \cdot 10^{-8}$ m/s.

Nella valutazione del dato si tenga conto che i terreni osservati in sede di sondaggio possono essere permeabili per porosità (nelle frazioni terrose) e per fratturazione, e che tale permeabilità è spesso limitata dalla diffusa presenza di una frazione fine. Le marne di S. Agata sono infatti terreni costituiti al 70%-80% da limo ed argilla, ed anche le arenarie di Lequio hanno dimostrato di contenere una buona frazione che, laddove va a riempire le fratture, ostacola il movimento dell'acqua.

RISULTATI PROVE PERMEABILITA'						
Sondaggio	Profondità (m)	ID	Unità	Litologia	Permeabilità Lugeon (m/s)	RQD (%)
S07_PZ	44,6-47,6	lug01	Lequio	Arenarie e marne	2.00E-07	50-75
	54,8-57,8	lug02	Lequio	Conglomerato	1.80E-06	50
S08_PZ	79,5-80,5	lug01	S. Agata	Marne	1.40E-07	75
	103-104	lug02	Lequio	Calcare marnoso	8.00E-08	50
S09_PZ	43,0-46,0	lug01	Lequio	Arenaria poco cementata	1.80E-07	100
	51,0-54,0	lug02	Lequio	Arenaria ben cementata	9.00E-07	90
	57,0-60,0	lug03	Lequio	Arenaria ben cementata	1.80E-07	100

Tabella 6.9 Prove Lugeon nei sondaggi in galleria

6.4 PROVE DI LABORATORIO

Come anticipato nel corso dei sondaggi si sono prelevati n. 9 campioni indisturbati, n. 59 campioni rimaneggiati e n. 49 campioni lapidei. Buona parte di questi sono stati sottoposti a prove di laboratorio fra cui peso di volume, contenuto naturale d'acqua, granulometria, limiti di Atterberg, contenuto di sostanza organica, compressione semplice, trazione, point load, taglio diretto, triassiale CD, UU, CU.

Rimandando alle tabelle riassuntive in allegato al testo per i risultati delle singole prove di seguito sono riepilogate le principali caratteristiche dei terreni.

Le alluvioni antiche ed attuali sono ghiaie sabbiose debolmente limose (ghiaia 60%, sabbia 20-30%, limo ed argilla 10-20%) classificabili come A1 o A2.4 della UNI 10006. I limiti di Atterberg non sono generalmente determinabili. Non mostrano reazione all'HCl. La densità relativa, il modulo elastico e l'angolo d'attrito del terreno influenzati dai valori a rifiuto delle SPT sono elevati.

Le alluvioni terrazzate sono sabbioso limoso argillose o limoso sabbioso argillose (sabbia 30-50%, limo 30-50%, argilla 10-20%) aventi limite di liquidità 30-40, limite di plasticità 20-25, indice di plasticità inferiore a 20 e contenuto naturale d'acqua dal 17% al 20%. Secondo la UNI 10006 sono classificabili da A4 ad A6. Il peso di volume è intorno a 19 kN/mc e non mostrano alcuna reazione all'HCl. Le prove di laboratorio riportano angolo d'attrito medio di 32°, coesione efficace 12 kPa e coesione neutra 26 kPa a 4,5 m da p.c.

Le Argille Grigie Plioceniche sono limi argillosi sabbiosi (sabbia 20%, limo 60%, argilla 20%) con limite di liquidità 40, di plasticità 25, indice di plasticità 15 e contenuto naturale d'acqua del 20%. Secondo la UNI 10006 sono classificabili come A4 o A6. Il peso di volume è di 20 kN/mc e la reazione all'HCl sempre evidente. Dalle prove di laboratorio risultano angoli d'attrito mediamente di 30° e coesione efficace di 15-30 kPa.

Il Cassano Spinola è un deposito granulometricamente eterogeneo composto generalmente da sabbie limoso argillose con ghiaia (ghiaia 0-20%, sabbia 40-70%, limo 20-25%, argilla 5-15%) con limite di liquidità 40, limite di plasticità 20-25 e indice di plasticità inferiore a 20. Localmente è presente con una frazione limoso argillosa prevalente (60-70%) su quella sabbiosa. L'eterogeneità è confermata dalla classificazione UNI 10006 con circa metà campioni classificabili come A2.4 – A2.6 e l'altra metà come A7 o più raramente A4. Il peso di volume è compreso fra 18-19 kN/mc mentre la reazione all'HCl sempre assente. Dalle prove di laboratorio risultano angoli d'attrito variabili fra 30°-35° con coesione efficace 20-30 kPa. L'angolo d'attrito residuo è di 15-20°.

Le Marne di S. Agata a livello di campione si dimostrano eterogenee più a livello strutturale che granulometrico, con il 40% dei campioni prelevati classificati come terrosi ed il 60% lapideo (valutazione probabilmente falsata dal grado di disturbo arrecato dal sondaggio). Le analisi granulometriche mettono in luce una composizione limoso argilloso sabbiosa (limo 30-50%, argilla 10-35%, sabbia 20-35%) con una subordinata frazione ghiaiosa presente solo localmente, limite di liquidità 30-40, limite di plasticità 20-25, indice di plasticità 10-18 e classificazione UNI 10006 A6 o A7. Il peso di volume è 20-21 kN/mc e la reazione all'HCl sempre vivace. Dalle prove di laboratorio, probabilmente influenzate da un certo grado di disturbo arrecato al campione (si noti che la maggior parte delle analisi sono state effettuate su campioni classificati come rimaneggiati, raramente indisturbati) l'angolo di attrito è mediamente di 30° e la coesione efficace di 25-40 kPa. Il materiale è eterogeneo come dimostrano valori di resistenza a compressione semplice, eseguiti su campioni classificati prevalentemente come litoidi, variabili fra 1-13 MPa con un valore medio di 4 MPa. Il modulo elastico da prove di laboratorio su singolo campione è mediamente di 1.000 MPa, ben confrontabile con quello ottenuto dalle prove dilatometriche che varia fra 400-800 MPa, considerando che il primo riguarda la scala del provino ed il secondo coglie meglio la variabilità caratteristica della formazione.

Le arenarie attribuite alla Formazione di Leguio sono state prelevate nella maggior parte dei casi in forma di campioni lapidei (>75%) e più limitatamente come campioni terrosi (anche in questo caso tale valore potrebbe essere falsato dal disturbo arrecato in fase di carotaggio). Le analisi granulometriche disponibili, la cui rappresentatività è limitata dal ridotto numero di prove (9 su 29 campioni ovvero il 30%) e dalla scelta di campioni spiccatamente terrosi, mostrano una composizione sabbioso limoso argillosa a tratti ghiaiosa (sabbia 40-50%, limo 20-40%, argilla 10%, ghiaia 0-25%) con limite di liquidità intorno a 30, di plasticità intorno a 20, indice di plasticità 10, classificazione UNI 10006 prevalente A4, subordinatamente A2 o A7. Il peso di volume è compreso fra 21-22 kN/mc e la reazione all'HCl vivace. Le prove di caratterizzazione geotecnica sono prevalentemente tagli diretti eseguiti su campioni rimaneggiati che restituiscono angoli d'attrito di 35-36° e coesione efficace di 10-20

KPa. I valori di coesione, in particolare, sono ritenuti poco rappresentativi per un materiale che dalle cassette (vedi documentazione fotografica) risulta spesso lapideo o pseudolapideo. L'unica prova triassiale su campione lapideo, condotta con pressioni di confinamento elevate (2-4-6 MPa) all'opposto riporta un angolo d'attrito di 45° e coesione di 11,6 MPa (11.600 kPa) ritenuta eccessivamente elevata. La compressione semplice testata su campioni classificati come lapidei varia anche in questo caso, denotando un terreno eterogeneo, da 2 a 10 MPa con valore medio 5,5 MPa. La resistenza a trazione media è di circa 0,2 MPa, il modulo elastico dalle prove di laboratorio di 1.000 MPa contro i 1.500 MPa medi delle prove dilatometriche.

6.5 INDAGINI GEOFISICHE

In supporto ai sondaggi sono state eseguite tomografie sismiche a rifrazione in zona d'imbocco ovest della galleria, ortogonalmente e parallelamente a ciascuna delle tre possibili soluzioni di tracciato ipotizzate (tracciato di preliminare, variante nord e variante sud). Dal punto di vista puramente sismostratigrafico i risultati di queste prospezioni sono difficilmente interpretabili in quanto i terreni indagati, attribuibili al Cassano Spinola ed alle sottostanti marne di S Agata, spesso saturi sin quasi a piano campagna, mostrano velocità delle onde sismiche progressivamente crescenti verso il basso con contrasti relativamente modesti che tendono a ridursi ed a sfumare ulteriormente in profondità. Le tarature fornite dai sondaggi hanno da un lato guidato l'interpretazione e dall'altro evidenziato sovrapposizioni di velocità che non sempre permettono di distinguere in maniera netta le singole unità stratigrafiche.

In zona d'imbocco del tracciato di definitivo le sezioni SR1 ed SR4, tarate con i sondaggi S5ter ed S6, mettono 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 (e coinvolti da fenomeni deformativi?) 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.

Un'altra utile evidenza che ha guidato la progettazione deriva dal confronto fra le traverse sismiche SR4 - SR5 ed SR6 (vedi Figura 6.3) ortogonali alle curve di livello e parallele rispettivamente al tracciato di definitivo, al tracciato

di preliminare ed alla possibile variante sud. SR5 ed SR6 mettono in luce al piede del pendio (quindi in zona d'imbocco) un approfondimento dei terreni più veloci (sia in onde P che S) che per contro nella traversa SR4 parallela al tracciato scelto in sede di definitivo non si palesa. In un contesto di acclarata pericolosità geomorfologica anche questa minore profondità dei sismostrati più veloci ha orientato la scelta verso il tracciato sviluppato in sede di progettazione definitiva.

Per una attribuzione della categoria di suolo di fondazione ai sensi della normativa vigente in zona d'imbocco galleria sono stati eseguiti n. 2 stendimenti Masw che hanno evidenziato come non esista un substrato in senso sismico, ovvero un substrato avente $V_s > 800$ m/s. I valori di V_s equivalente, sostenuti e condizionati dal substrato geologico delle marne di S. Agata fossili con copertura di materiale sciolto limoso sabbioso, sono compresi fra 376-415 m/s (vedi Tabella 6.10) configurando una categoria di suolo di fondazione tipo B.

Masw	Ubicazione	V_s eq V_{s30} (m/s)
Masw 1	Imbocco W	415
Masw 2	Imbocco E	376

Tabella 6.10 Risultati prove Masw agli imbocchi della galleria

Infine corrispondenza del viadotto sull'Ellero e del ponte sull'Ermèna i sondaggi S3DH e S12DH sono stati attrezzati con un tubo in PVC pesante per l'esecuzione di una prova down hole con la quale determinare il profilo di velocità delle onde sismiche di taglio e quindi, anche in questo caso, permettere un'attribuzione della categoria di suolo di fondazione. Coerentemente con le Masw risulta una V_s equivalente compresa fra 391-499 m/s (vedi Tabella 6.11) e quindi una categoria di suolo di fondazione tipo B.

Sondaggio	Ubicazione	V_s eq V_{s30} (m/s)
S3-DH	Viadotto Ellero	499
S12-DH	Viadotto Ermèna	391

Tabella 6.11 Risultati prove Down Hole

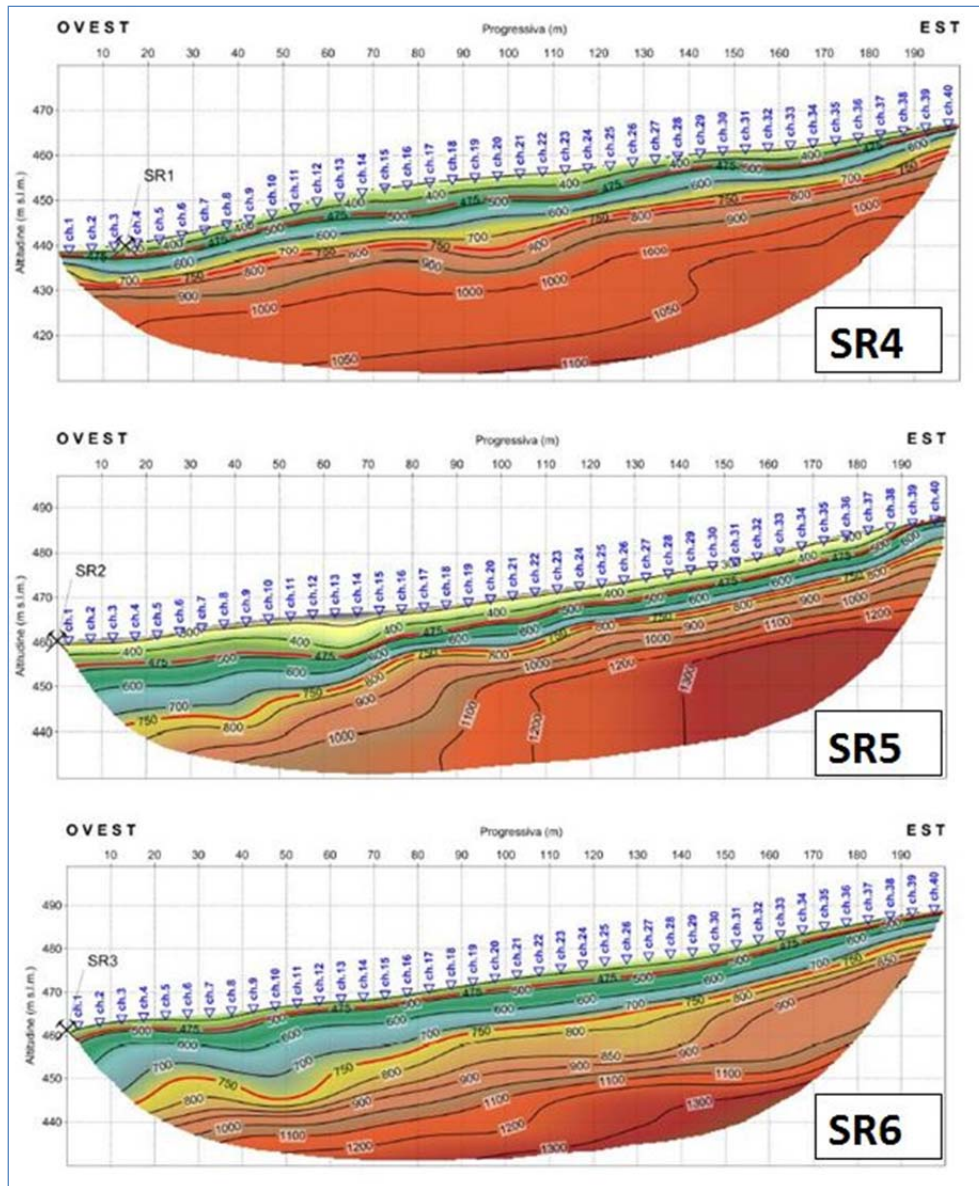


Figura 6.3 Confronto in Vs fra SR4 (variante nord e tracciato selezionato), SR5 (tracciato di preliminare) e SR6 (variante sud). SR5 ed SR6 evidenziano al piede del versante (zona d'imbocco) un approfondimento dei rifrattori più veloci (sono evidenziati Vs 475 m/s e Vs 750 m/s)

6.6 MONITORAGGIO PIEZOMETRICO ED INCLINOMETRICO

Il piano delle indagini geostitiche di progetto definitivo (anno 2019) unitamente all'installazione di piezometri ed inclinometri ha previsto il monitoraggio della medesima strumentazione per un arco di tempo non inferiore ad un anno con cadenza trimestrale. Il monitoraggio eseguito in fase d'indagine sui piezometri è riepilogato in Tabella 4.1, mentre per gli inclinometri la lettura di zero è stata acquisita nel gennaio 2019, dopo l'installazione di tutti gli strumenti e l'avvenuta presa della miscela cementizia d'intasamento. L'assenza di eventi meteorici significativi nel

tempo intercorrente fra la misura di zero e la redazione del progetto non ha permesso il riscontro, in questa fase, di misure ritenute attendibili.

I successivi risultati del monitoraggio saranno acquisiti nel progetto esecutivo e permetteranno di verificare e ove necessario tarare le ipotesi progettuali, sviluppate in questa sede secondo un approccio cautelativo.

Il monitoraggio sulla strumentazione posta in asse stradale (esclusi quindi gli inclinometri S5bis_I ed S13_I, che sono posizionati lungo precedenti soluzioni di tracciato) proseguirà con pari cadenza temporale (trimestrale) durante il corso dei lavori al fine di verificare l'effettiva interazione opere/terreni.

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

7.1 DEPOSITI QUATERNARI

7.1.1 Unità R-V. Terreno vegetale e materiale di riporto

I rilievi sul terreno e le stratigrafie di sondaggio hanno evidenziato la presenza di una coltre di terreno vegetale a composizione prevalentemente limoso sabbiosa di spessore variabile fra 0,4 m e 1,1 m. Gli spessori maggiori si concentrano in particolare lungo ambo le sponde dell'Ellero, dove sono presenti campi coltivati a seminativo o adibiti a foraggio e dove si concentrano i più estesi tratti in rilevato.

Dove il tracciato intercetta una viabilità locale al terreno vegetale si sostituisce una coltre di materiale di riporto più o meno granulare immersa in matrice limosa di potenza 0,6 – 1,3 m.

La tabella seguente riepiloga gli spessori di terreno vegetale e riporto risultanti dalle colonne stratigrafiche dei sondaggi eseguiti nel 2019.

Sondaggio	Ubicazione	Spessore vegetale (m)	Spessore riporto (m)	Sondaggio	Ubicazione	Spessore terreno vegetale (m)	Spessore riporto (m)
S02-PZ	Tratto all'aperto	1,1		S07-Pz	Galleria	0,4	
S03-DH	Viadotto Ellero		0,6	S08-Pz	Galleria		0,3
S04-I	Viadotto Ellero	0,4		S09-Pz	Galleria	0,4	
S05-Pz	Imbocco W galleria	0,5		S10-Pz	Imbocco E galleria		0,5
S05bis-I	Imbocco W galleria	1,1		S11-Pz	Ponte Ermena		1,0
S05ter-Pz	Imbocco W galleria	1,0		S12-DH	Ponte Ermena		1,3
S06-I	Imbocco W galleria	0,6		S13-I	Imbocco E galleria	1,1	

Figura 7.1 Terreno vegetale e riporto nei sondaggi del 2019

I terreni appartenenti all'unità V-R non sono stati caratterizzati in quanto:

- per il terreno vegetale il progetto ne prevede la totale asportazione al di sotto degli scavi e dei rilevati per uno spessore complessivo stimato di circa 1 m, di cui 0,2 m di scotico e 0,8 m di bonifica;
- per il materiale di riporto intercettato in corrispondenza di viabilità interferita è prevista allo stesso modo l'asportazione per l'intero spessore puntualmente rilevato e la sostituzione con materiale arido di sottofondo stradale conforme alle prescrizioni di capitolato.

7.1.2 Unità Aa. Depositi alluvionali attuali

Depositi alluvionali attuali sono circoscritti all'alveo attuale dei torrente Ellero ed Ermena dove sono costituiti da ghiaie grossolane con sabbie più o meno limose inglobanti abbondanti ciottoli e massi, spesso molto grossolani

(Foto 7.1). In questi materiali non è stato possibile procedere al prelievo di campioni rappresentativi ed anche le prove SPT, utili per caratterizzare materiali granulari difficilmente campionabili, vanno sistematicamente a rifiuto.



Foto 7.1 Alluvioni attuali dell'Ellero (a sinistra) e dell'Ermena (a destra) fotografati in asse al progetto

I rilievi di campo hanno evidenziato come i massi abbiano componente prevalente quarzifica o quarzoarenitica; sono quindi costituiti da materiale molto tenace cui può essere attribuita una resistenza a compressione che in ragione della natura silicea della matrice può essere superiore a 150-200 MPa.

7.1.3 Unità Ab. Depositi alluvionali dei piani terrazzati

I depositi alluvionali terrazzati presenti lungo l'Ellero non interessano il sedime progettuale. Sono invece interferiti dalle opere quelli lungo l'Ermena, dove perimetrano il corso d'acqua nel tratto compreso fra fine intervento e l'imbocco Est della galleria S. Lorenzo, e in corrispondenza del Rione Borgato dove configurano ambo le sponde dove si colloca il ponte che scavalca lo stesso Ermena.

Litologicamente sono rappresentati da sabbie limose e limi sabbiosi talvolta inglobanti, specie in corrispondenza del ponte sull'Ermena, ghiaie grossolane ben arrotondate. Dalle prove di laboratorio risultano sabbie limose argillose o limi sabbiosi argillosi (sabbia 30-50%, limo 30-50%, argilla 10-20%) con locali livelli ricchi di ghiaie. Il limite di liquidità è 30-40, limite di plasticità 20-25, indice di plasticità inferiore a 20 e contenuto naturale d'acqua dal 17% al 20%. Secondo la UNI 10006 sono classificabili da A4 ad A6. Il terreno non mostra alcuna reazione all'HCl palesando una composizione prevalentemente silicea. Come riepilogato nelle figure seguenti le prove di laboratorio riportano peso di volume medio intorno a 19 kN/mc, angolo d'attrito di 30°-32°, in linea con quello dedotto dall'indice di plasticità tramite la correlazione Sorensen - Okkels (2013) secondo la: $\phi' = 43 - 10 \log(PI)$, e inferiore a quello estrapolato dalle SPT, coesione efficace fra 12-26 kPa e coesione non drenata da prova triassiale UU di 26 kPa a 4,5 m da p.c. Le prove pressiometriche in sito riportano valori di coesione non drenata intorno a 100 kPa fra 4m e 6 m da p.c. L'angolo d'attrito residuo da prove di taglio diretto è di 19°. Il modulo elastico da prova pressiometrica varia da 15 MPa a 25 MPa, inferiore a quello dedotto dalle prove SPT.

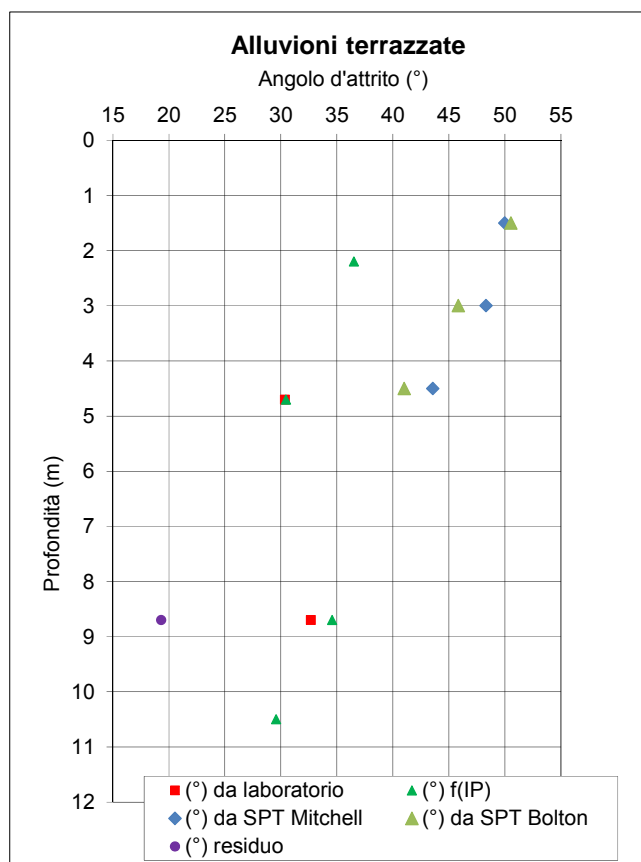
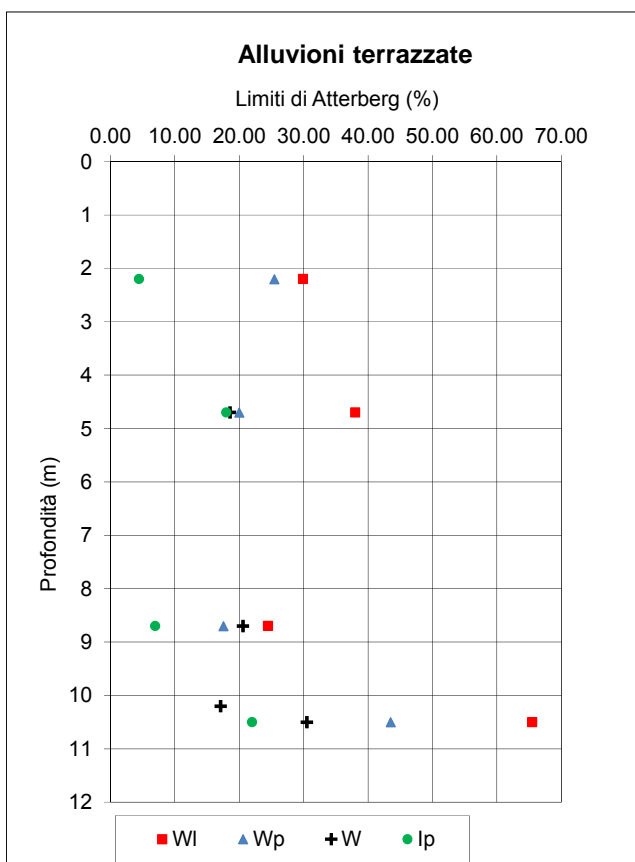
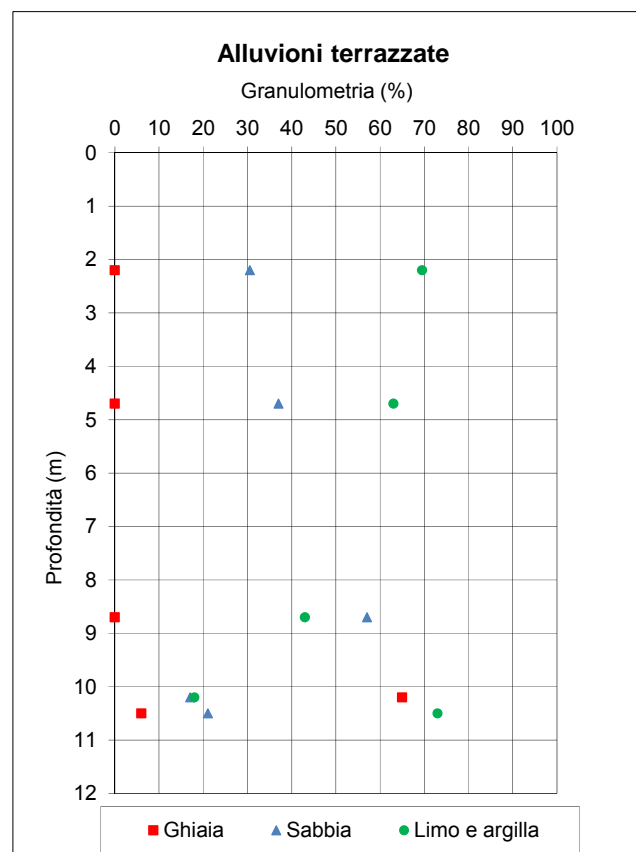
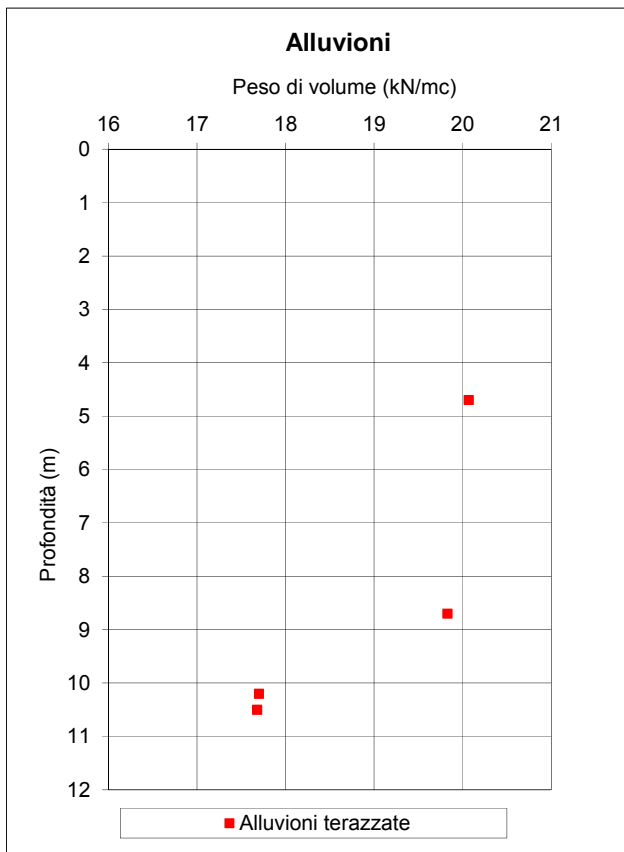


Figura 7.2 Alluvioni terrazzate. Peso di volume, granulometria, limiti di Atterberg e angolo d'attrito

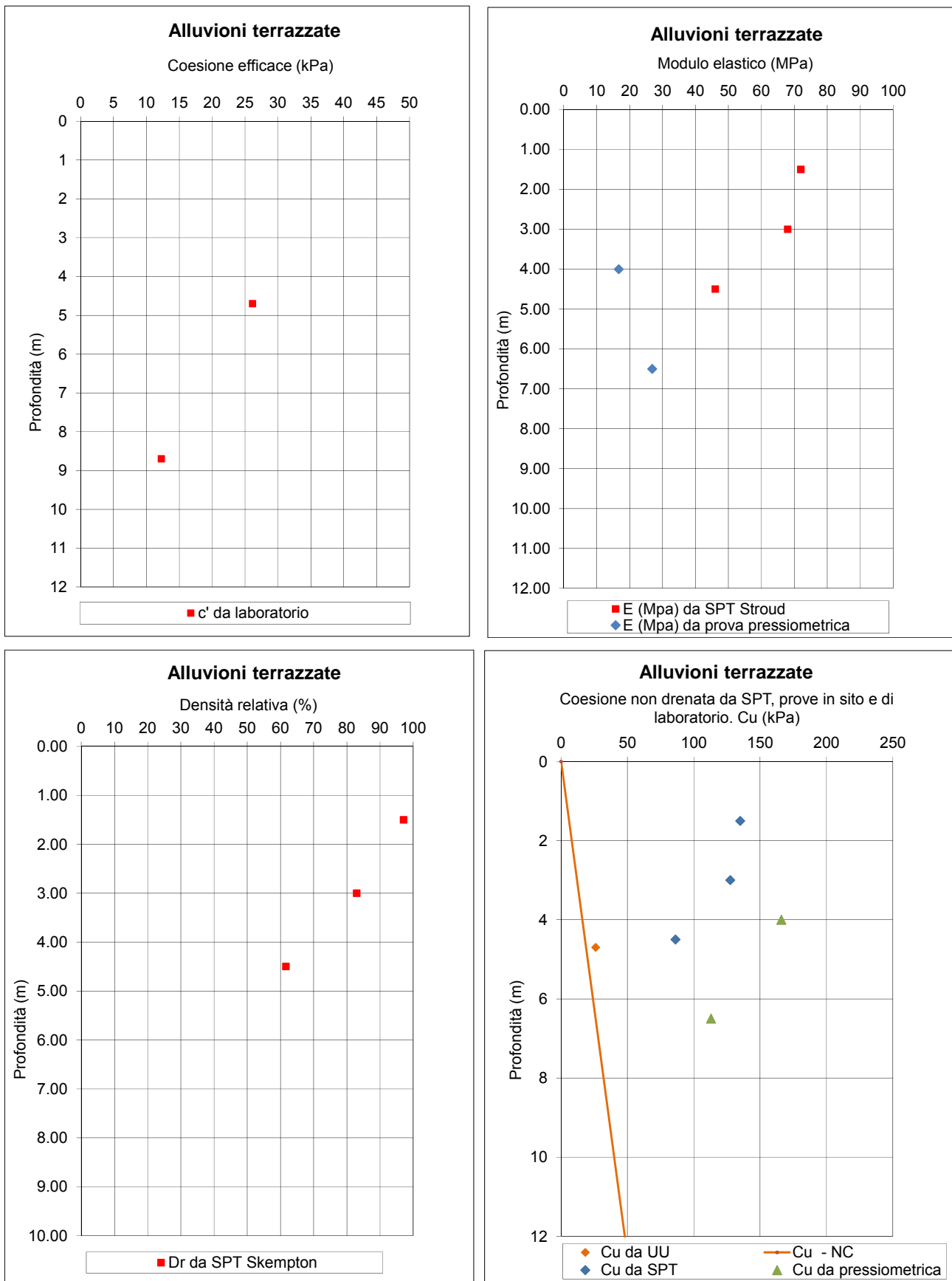


Figura 7.3 Alluvioni terrazzate. Coesione efficace, modulo elastico, densità relativa e coesione non drenata

In zona d'imbocco Est della galleria S. Lorenzo i terreni attribuiti alla coltre alluvionale terrazzata sono coinvolti da locali fenomeni deformativi che in superficie si manifestano con piccole nicchie di coronamento, avvallamenti, contropendenze e perdita di verticalità dei pali della luce. Ai fini progettuali per tale area si è effettuata una back analysis del versante ricercando quali sono i parametri di coesione ed angolo d'attrito per cui la coltre, in appoggio sul sottostante substrato marnoso consistente, si trova in condizioni di equilibrio limite, ovvero il coefficiente di sicurezza è prossimo all'unità. La verifica, riportata in Figura 7.4 e condotta su una sezione perpendicolare alle curve di livello in zona d'imbocco, evidenzia come fattori di sicurezza prossimi all'unità siano raggiunti con falda prossima a piano campagna (condizione che si verifica stagionalmente a seguito di eventi meteorici intensi) coesione nulla e angolo d'attrito di circa 19°, medesimo valore ottenuto in laboratorio dalle prove di taglio residue. Anche le ridotte e superficiali dimensioni della superficie di scivolamento palesate nella verifica sono ben congruenti con le locali osservazioni di campagna (vedi relazione geologica).

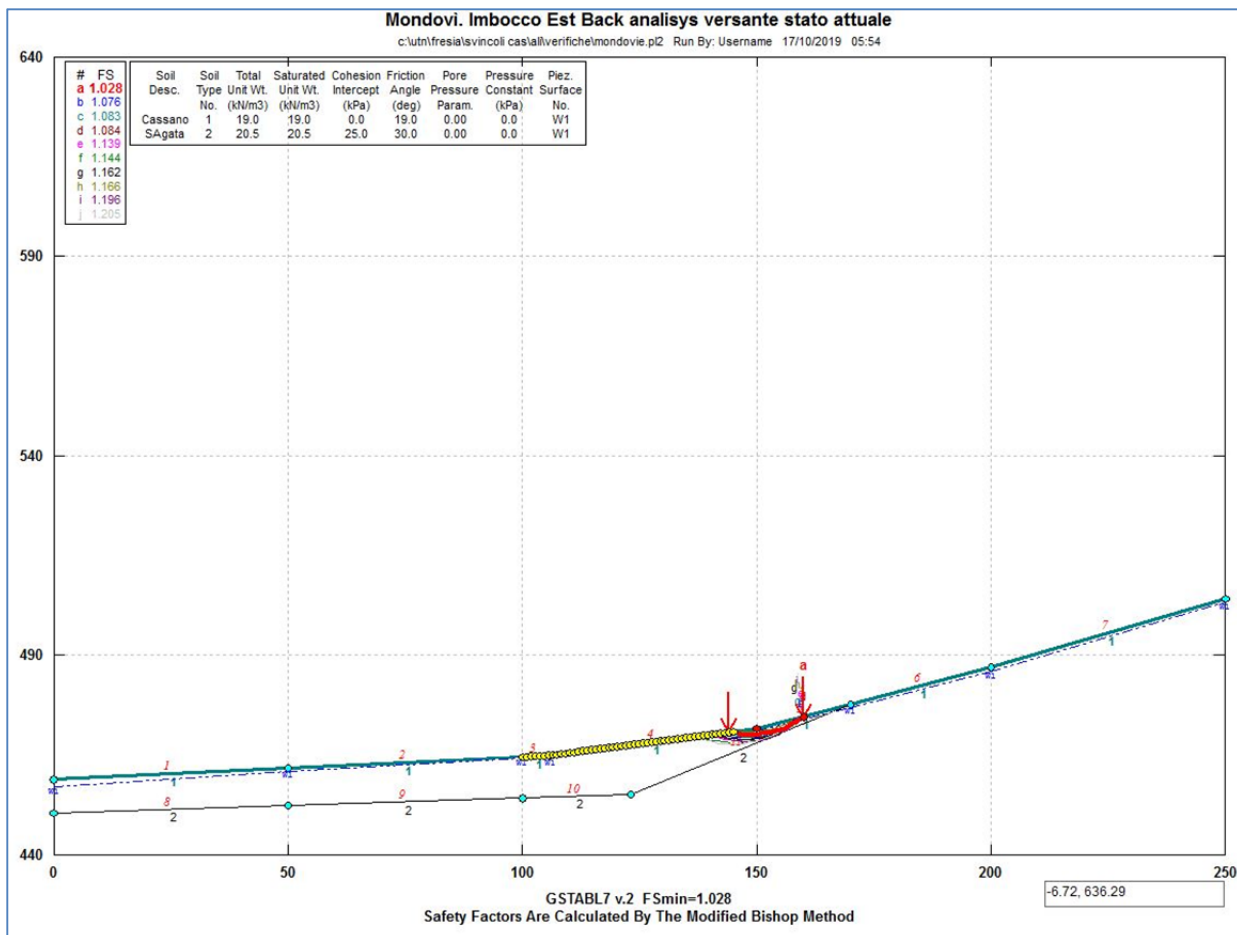


Figura 7.4 Collina di S. Lorenzo. Versante est in zona imbocco. La back analysis dimostra come un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità si raggiunga con falda a piano campagna, coesione nulla e angolo d'attrito di circa 19°

Un'analoga verifica è stata effettuata in corrispondenza della sponda destra del ponte sull'Ermena dove lungo il versante, qui caratterizzato da pendenze maggiori, è censita una perimetrazione di frana potenzialmente attiva. La verifica, condotta in corrispondenza di una sezione ortogonale alla prevista paratia a monte della rotatoria di innesto

alla SS28 ,riporta condizioni di equilibrio limite a fronte di una falda a modesta profondità e parametri che in questo caso sono nell'ordine di $c' = 5 \text{ kPa}$ e $\Phi' = 30^\circ$ (Figura 7.5). Abbassando il livello di falda condizioni di equilibrio limite si riscontrano anche per $c' = 0 \text{ kPa}$ e $\Phi' = 30^\circ$ (Figura 7.6).

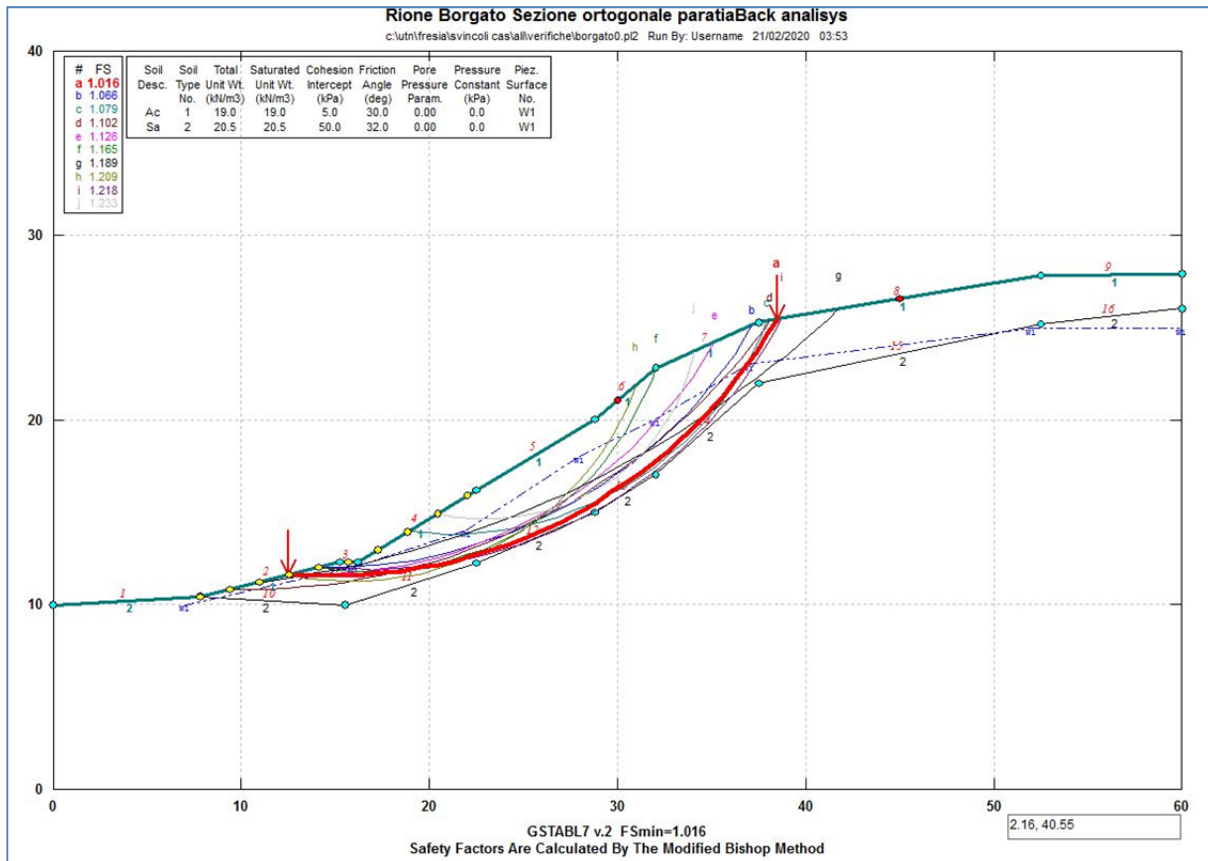


Figura 7.5 Sponda destra Ermena ponte Rione Borgato. In presenza di falda a modesta profondità un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità si raggiunge con coesione 5 kPa e angolo d'attrito di 30°.

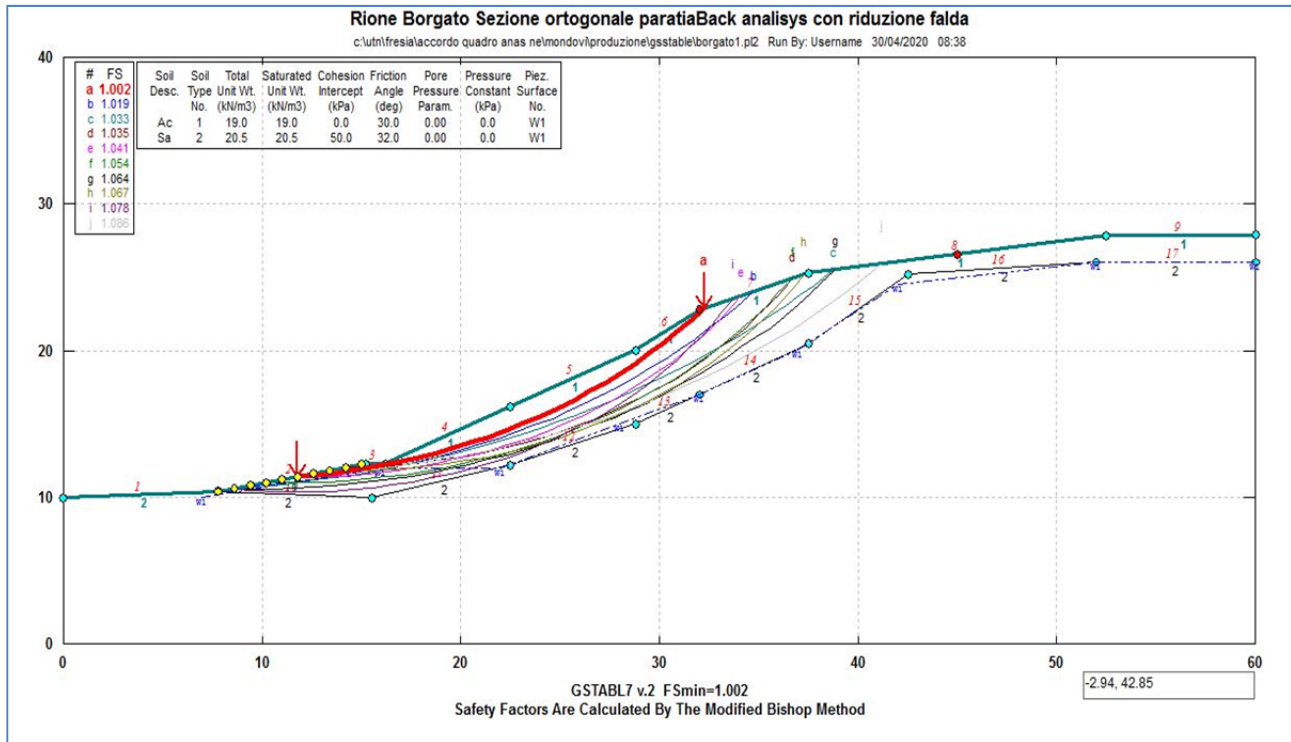


Figura 7.6 Sponda destra Ermena ponte Rione Borgato. Con falda in prossimità del substrato un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità si raggiunge con coesione 0 kPa e angolo d'attrito di 30°

7.1.4 Unità Ac. Depositi alluvionali antichi

Localizzati estesamente in sponda sinistra dell'Ellero fra inizio intervento ed il corso d'acqua sono espressione di fenomeni di trasporto ed accumulo glaciale e fluvioglaciale quaternari per spessori che in asse progetto non sono particolarmente significativi (circa 4 -6 m) ma comunque tali da interessare un tratto lungo oltre 700 m in rilevato, trincea e galleria artificiale.

Litologicamente sono ghiaie sabbiose debolmente limose (ghiaia 60%, sabbia 20-30%, limo ed argilla 10-20%) classificabili come A1 o A2.4 della UNI 10006. I limiti di Atterberg non sono generalmente determinabili. Non mostrano reazione all'HCl.

Trattandosi di terreni granulari non è stato possibile procedere al prelievo di campioni indisturbati. Dalle prove SPT la densità relativa, il modulo elastico e l'angolo d'attrito sono elevati (Figura 7.7).

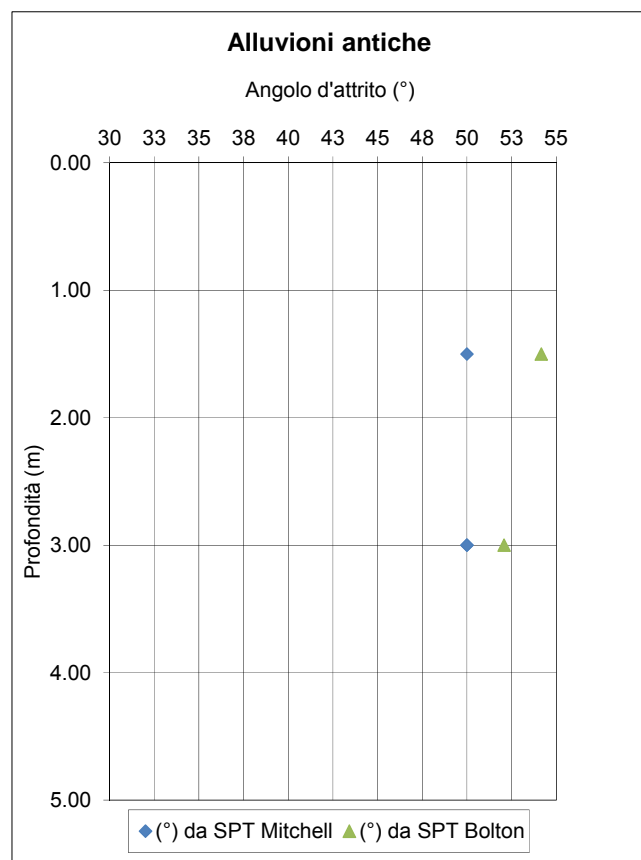
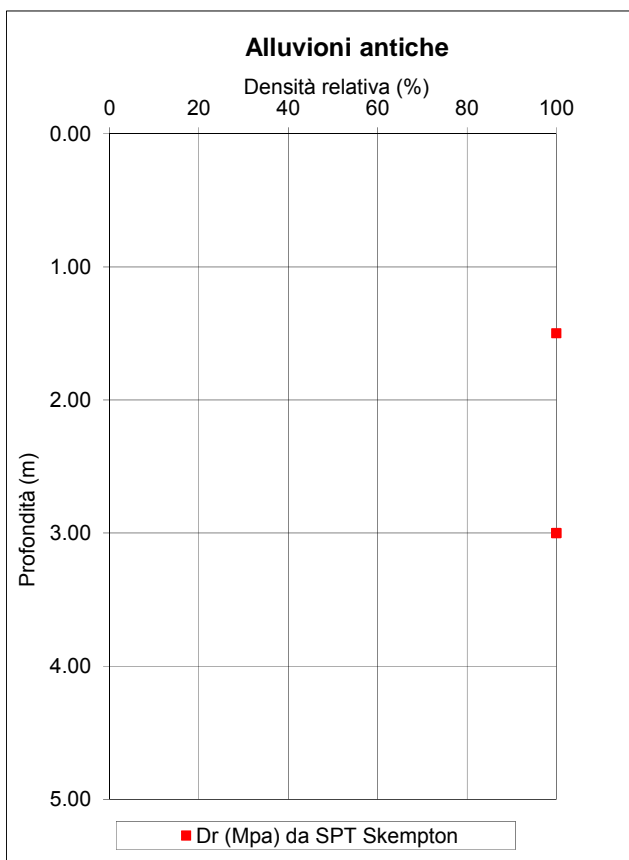
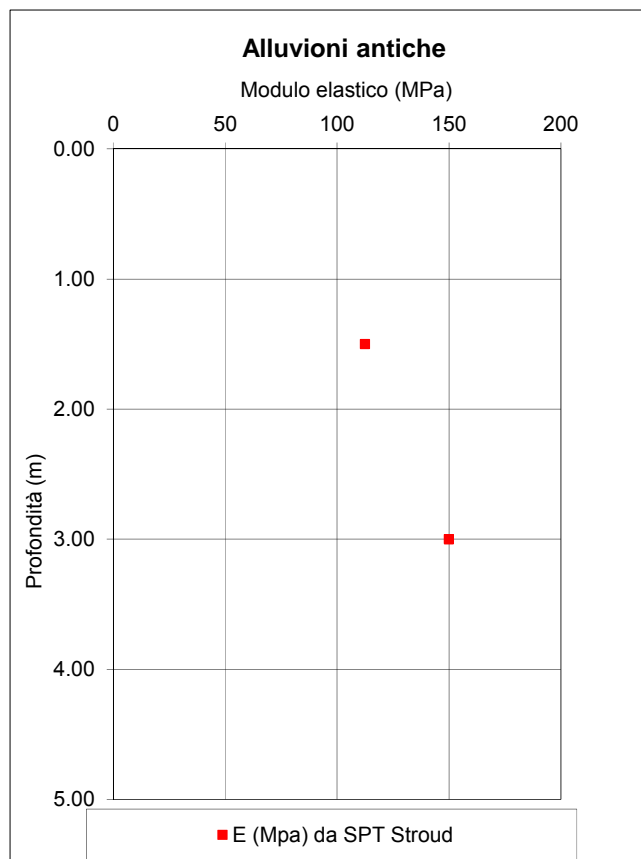
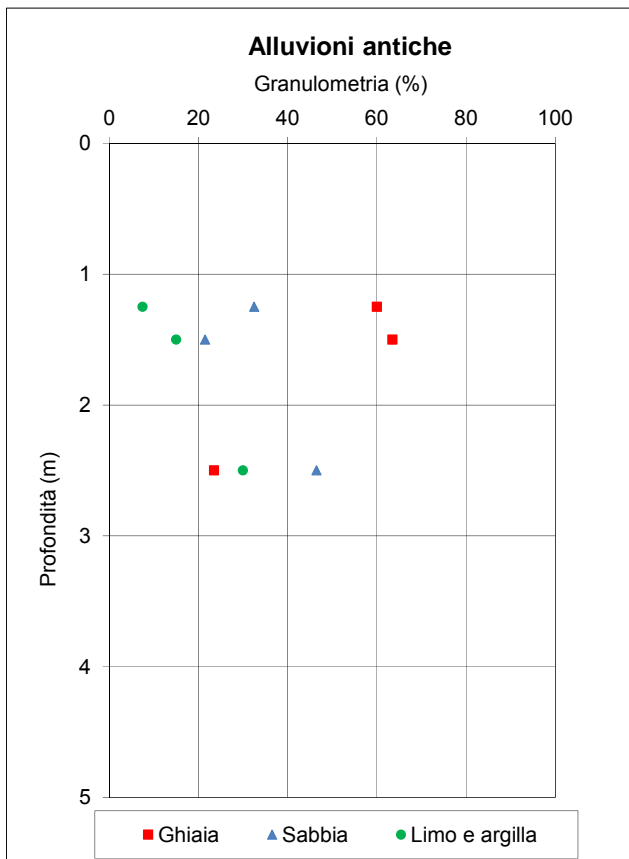


Figura 7.7 Alluvioni antiche. Granulometria da prove di laboratorio. Modulo elastico, densità relativa e angolo d'attrito da SPT

7.2 FORMAZIONI PLIOCENICHE

7.2.1 Unità Ga. Argille Grigio Azzurre

Sono state riscontrate in corrispondenza dell'Ellero nel sondaggio S03-DH, lungo un esteso affioramento che delimita l'alveo in sinistra idrografica dello stesso corso d'acqua poco a valle dell'asse in progetto (vedi carta geologica) ed ancora a monte della SP5 (inizio intervento) in corrispondenza di una cava, oggi esaurita, un tempo utilizzata per la produzione di laterizi. Sono argille e argille marnose dal caratteristico colore grigio azzurro, molto compatte e consistenti, omogenee e ben sovraconsolidate, che possono contenere subordinati e sottili orizzonti sabbiosi. Dai campioni prelevati granulometricamente risultano limi argilloso sabbiosi (sabbia 20%, limo 60%, argilla 20%) con limite di liquidità 30-40%, di plasticità 20-25%, indice di plasticità 10-15, indice di consistenza 1, contenuto naturale d'acqua del 20%. Secondo la UNI 10006 sono classificabili come A4 o A6. Il peso di volume medio è compreso fra 19-20 kN/mc, la reazione all'HCl sempre evidente denotando una matrice carbonatica. Dalle prove di taglio diretto e triassiali CD e CU risultano angoli d'attrito variabili da 28° a 35°, ben in linea con quello deducibile dall'indice di plasticità, ed una coesione efficace di 28-30 kPa. Dalle prove SPT non a rifiuto si deduce una coesione non drenata di 150 kPa e modulo elastico di almeno 30 MPa.

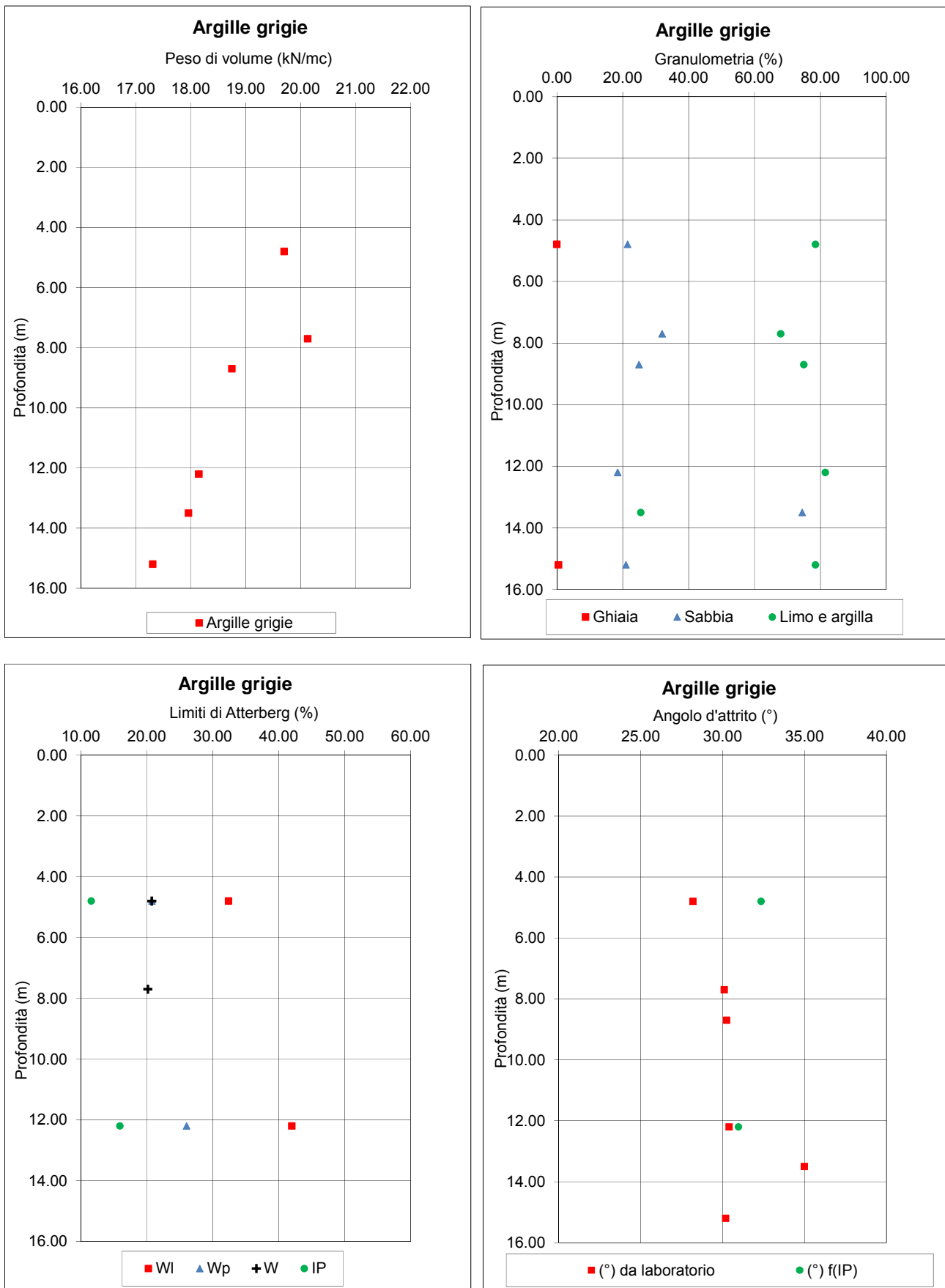


Figura 7.8 Argille Grigio Azzurre. Peso di volume, granulometria, limiti di Atterberg e angolo d'attrito

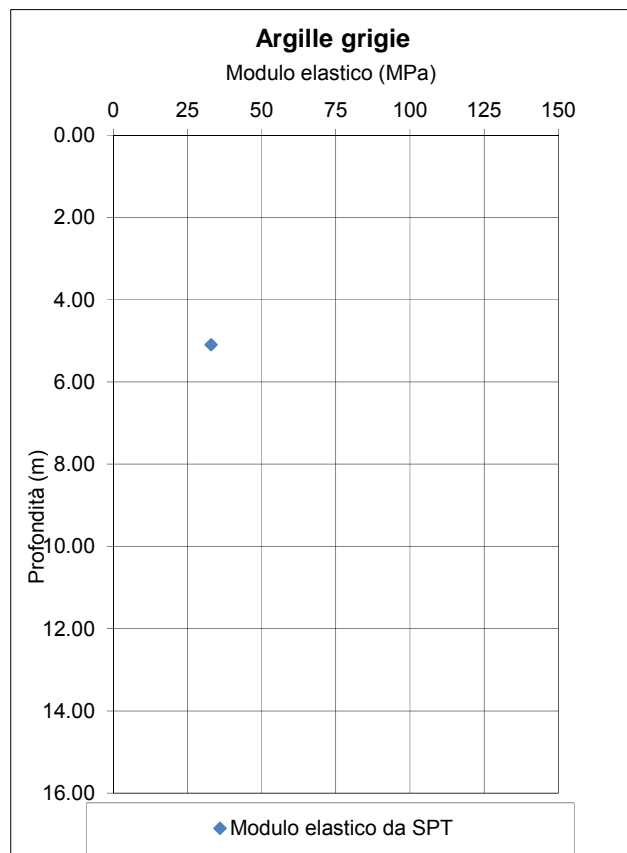
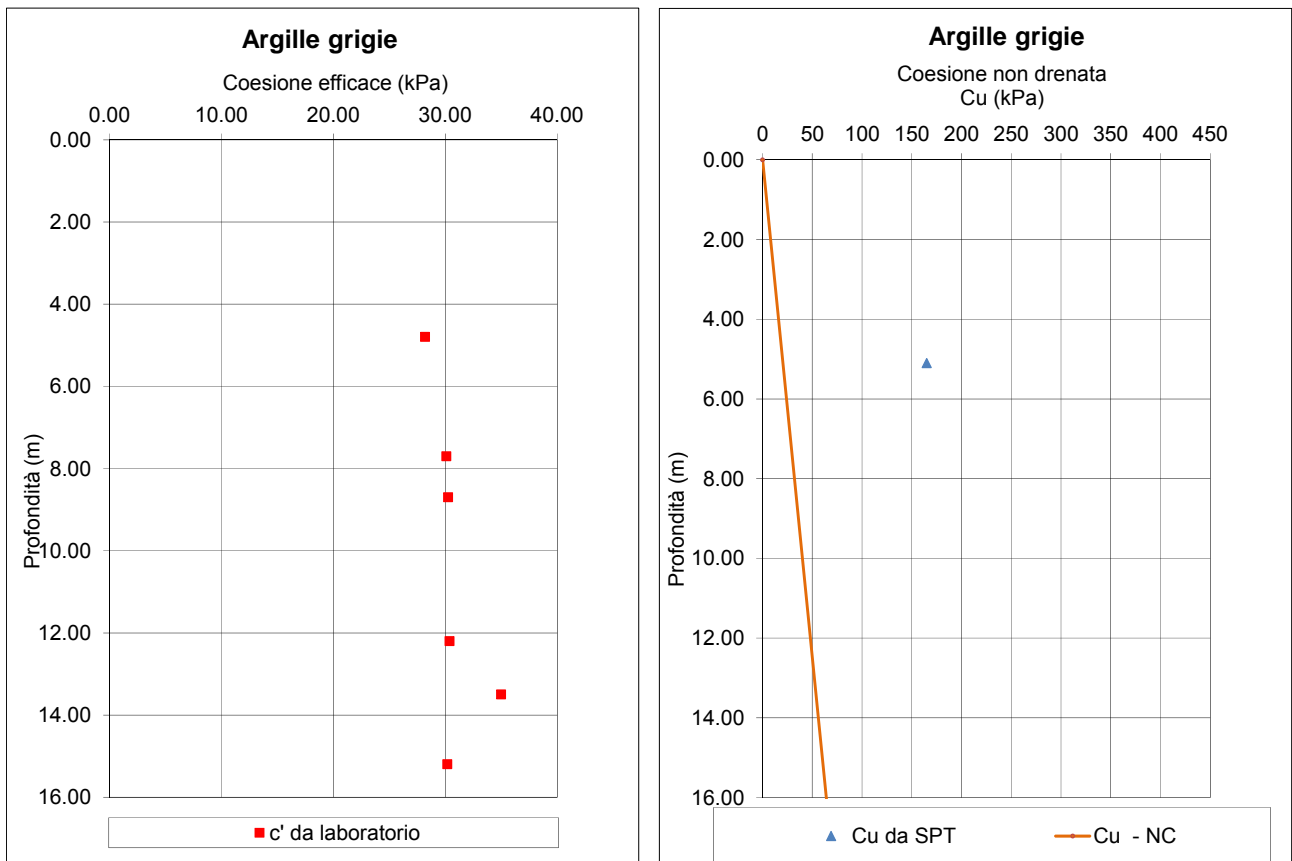


Figura 7.9 Argille Grigio Azzurre. Coesione efficace da prove di laboratorio, coesione non drenata e modulo elastico da SPT

7.3 FORMAZIONI MIOCENICHE

7.3.1 Unità Cs. Formazione di Cassano Spinola

Geologicamente è un deposito post evaporitico in facies di lago mare caratterizzato da una sensibile eterogeneità dovuta alle condizioni di sedimentazione e, probabilmente, a rimaneggiamenti successivi. A prevalere è la facies sabbioso limosa (cui localmente soggiace una facies sabbioso ghiaiosa) spesso più superficiale e per questo coinvolta, lungo il versante occidentale della collina di S Lorenzo, in una serie di fenomeni deformativi ben individuabili sul terreno e riportati nella documentazione di pianificazione territoriale. In particolare buona parte del versante in questione è occupato da un esteso perimetro di antica frana (paleofrana?) quiescente al cui interno si sviluppano frane di scivolamento, più raramente creep o colate, a carattere locale, quiescenti o stagionali, che il tracciato selezionato in fase progettuale evita. Il progetto è stato comunque sviluppato considerando condizioni di potenziale instabilità geomorfologica in zona d'imbocco. Un'altra caratteristica di questa unità è la presenza di blocchi grossolani (da pluridecimetri e metrici) quarzatici o quarzoarenitici, più frequenti negli orizzonti superficiali (indicativamente nei primi 3-4 m da p.c.). Le prove di laboratorio confermano l'eterogeneità granulometrica con una prevalenza di sabbie limoso argillose con ghiaia (ghiaia 0-20%, sabbia 40-70%, limo 20-25%, argilla 5-15%) aventi limite di liquidità 30-50, limite di plasticità 20-30 e indice di plasticità compreso fra 15-25. Localmente la frazione limoso argillosa prevale (60-70%) su quella sabbiosa. L'eterogeneità è confermata dalla classificazione UNI 10006 con circa metà campioni classificabili come A2.4 – A2.6 e l'altra metà come A7 o più raramente A4. Il peso di volume è compreso fra 18-19 kN/mc mentre la reazione all'HCl sempre assente. Per la caratterizzazione dei terreni sono state eseguite prove SPT a diverse profondità e si sono stati prelevati campioni rimaneggiati ed indisturbati. Dalle prove di laboratorio risultano angoli d'attrito variabili fra 30°-35°, inferiori ai valori estrapolabili dalle prove SPT ed in linea con quelli deducibili dall'indice di plasticità. La coesione efficace varia fra 20-30 kPa con punte sino a 35 kPa, mentre la coesione non drenata dedotta dalle SPT evidenzia un materiale normal consolidato o leggermente sovraconsolidato, specie in superficie. La densità relativa è compresa fra 40-50% mentre il modulo elastico crescente con la profondità variabile da 15 MPa in superficie a 50 MPa intorno a 15-20 m da p.c. L'angolo d'attrito residuo è di 15°-22°. Anche in questo caso stante la presenza di fenomeni deformativi circostanti la zona d'imbocco si è effettuata una back analysis del versante ricercando quali sono i parametri di coesione ed angolo d'attrito per cui l'unità stratigrafica in argomento si trova in condizioni di equilibrio limite, ovvero il coefficiente di sicurezza è prossimo all'unità. La verifica, riportata in Figura 7.12 e condotta su una sezione perpendicolare alle curve di livello, evidenzia come fattori di sicurezza prossimi all'unità siano raggiunti con falda prossima a piano campagna (condizione confermata dai piezometri installati) coesione nulla e angolo d'attrito di circa 19° (valore in linea con le prove di taglio residue). Nella verifica numerica le superfici di scivolamento sono confinate nella porzione superficiale dell'unità (entro 3-5 m da p.c.) coerentemente con le misure inclinometriche effettuate da Arpa. In un approccio prudentiale e in attesa del monitoraggio sugli inclinometri installati nel 2019 il progetto estende i parametri di resistenza residui all'intero spessore dell'unità di Cassano Spinola in zona d'imbocco.

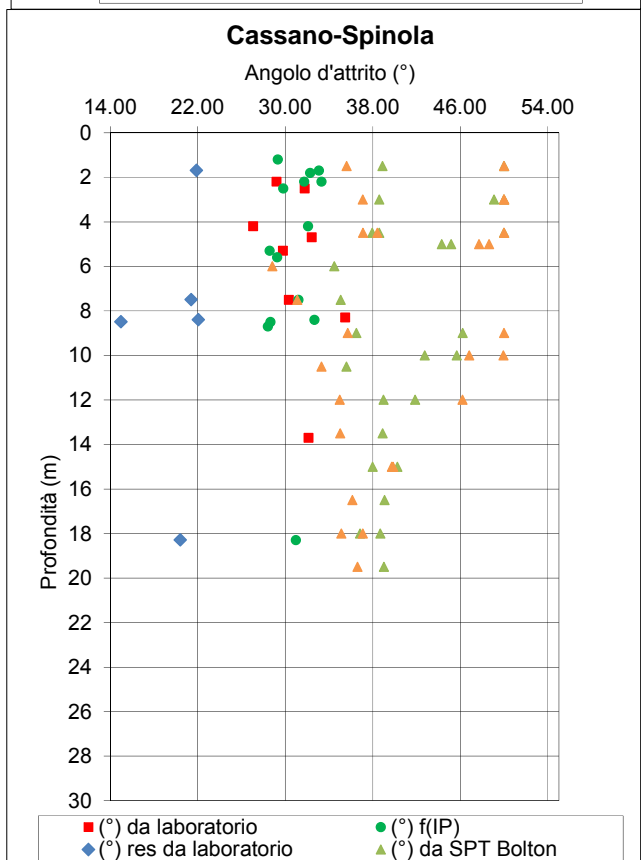
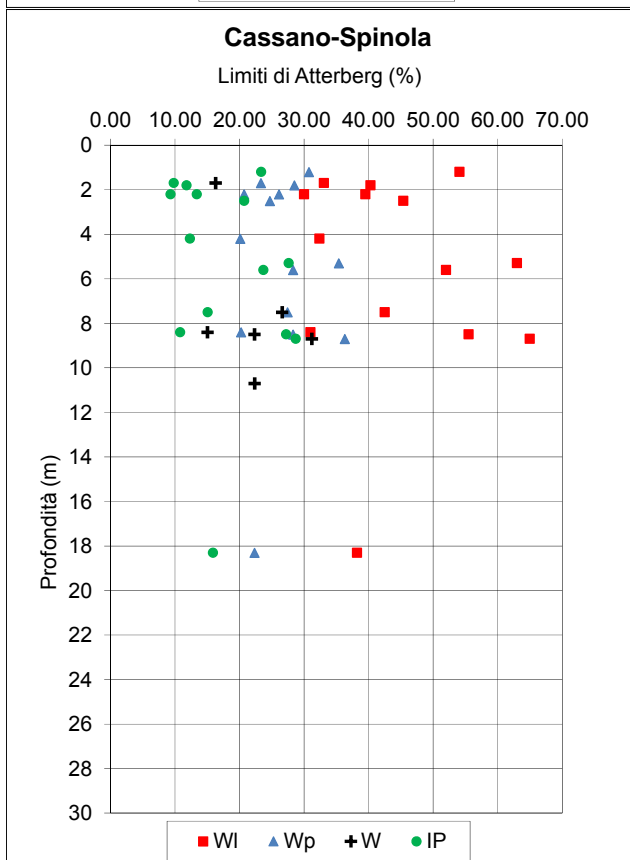
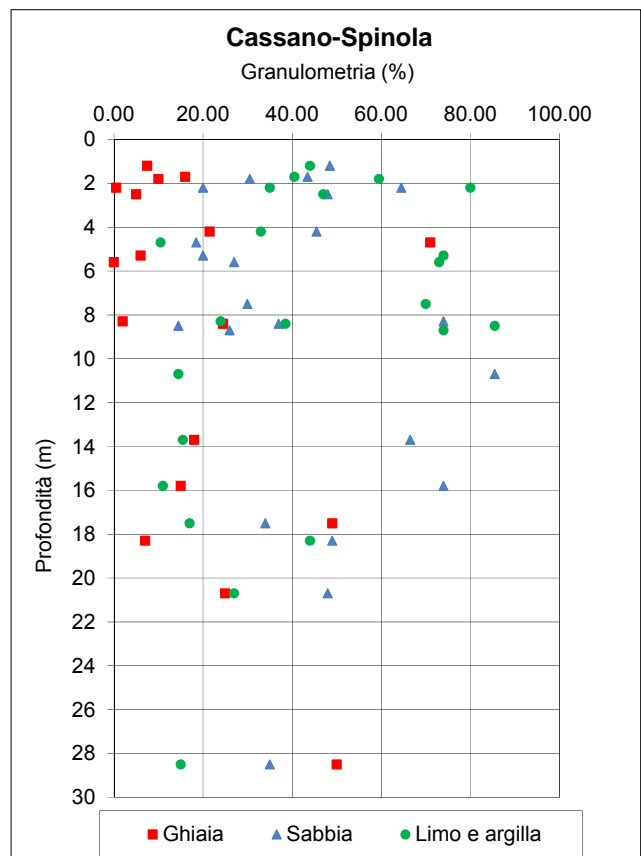
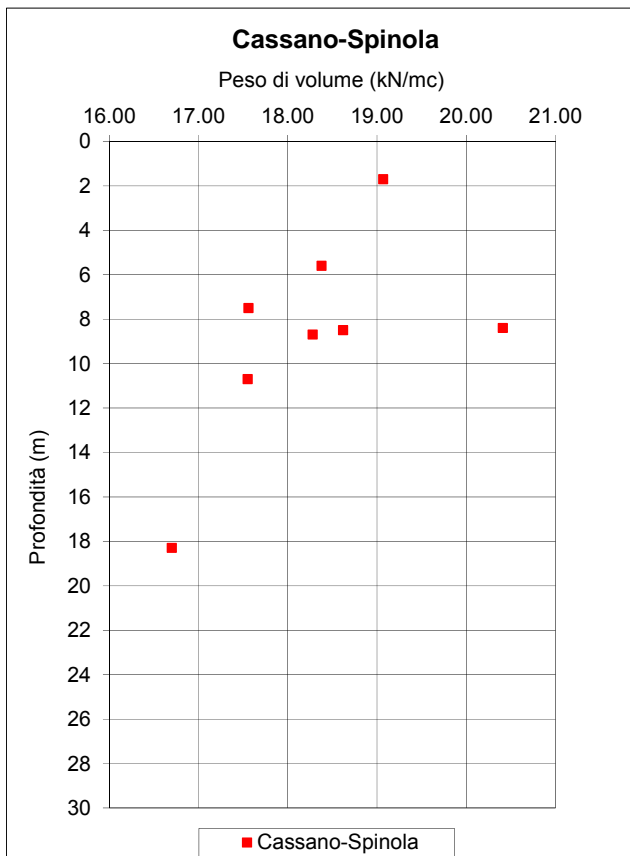


Figura 7.10 Cassano Spinola. Peso di volume, granulometria, limiti di Atterberg, angolo d'attrito da SPT, prove di laboratorio e dall'indice di plasticità

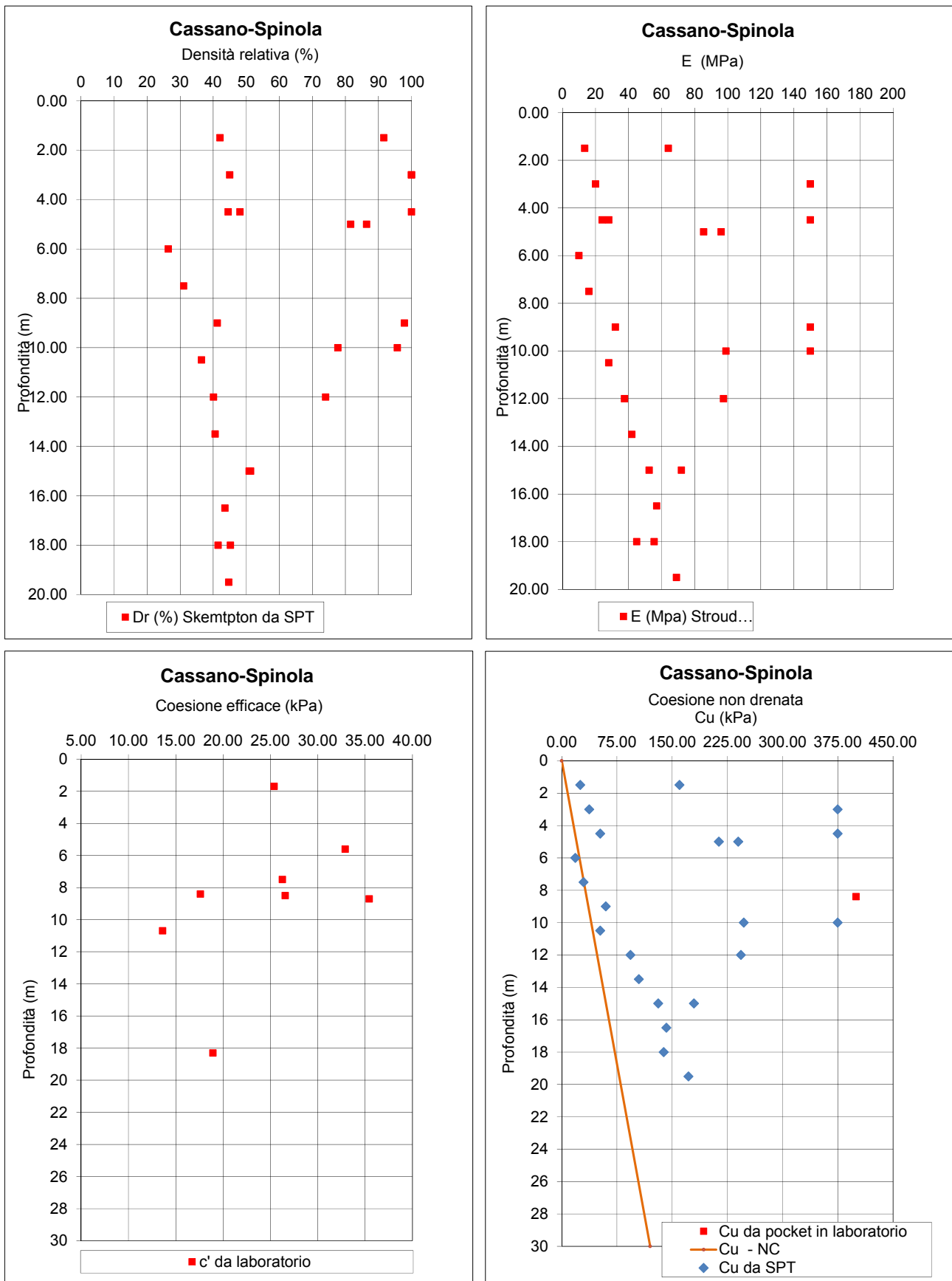


Figura 7.11 Cassano Spinola. Densità relativa, modulo elastico e coesione non drenata da SPT. Coesione efficace e coesione non drenata da prove di laboratorio.

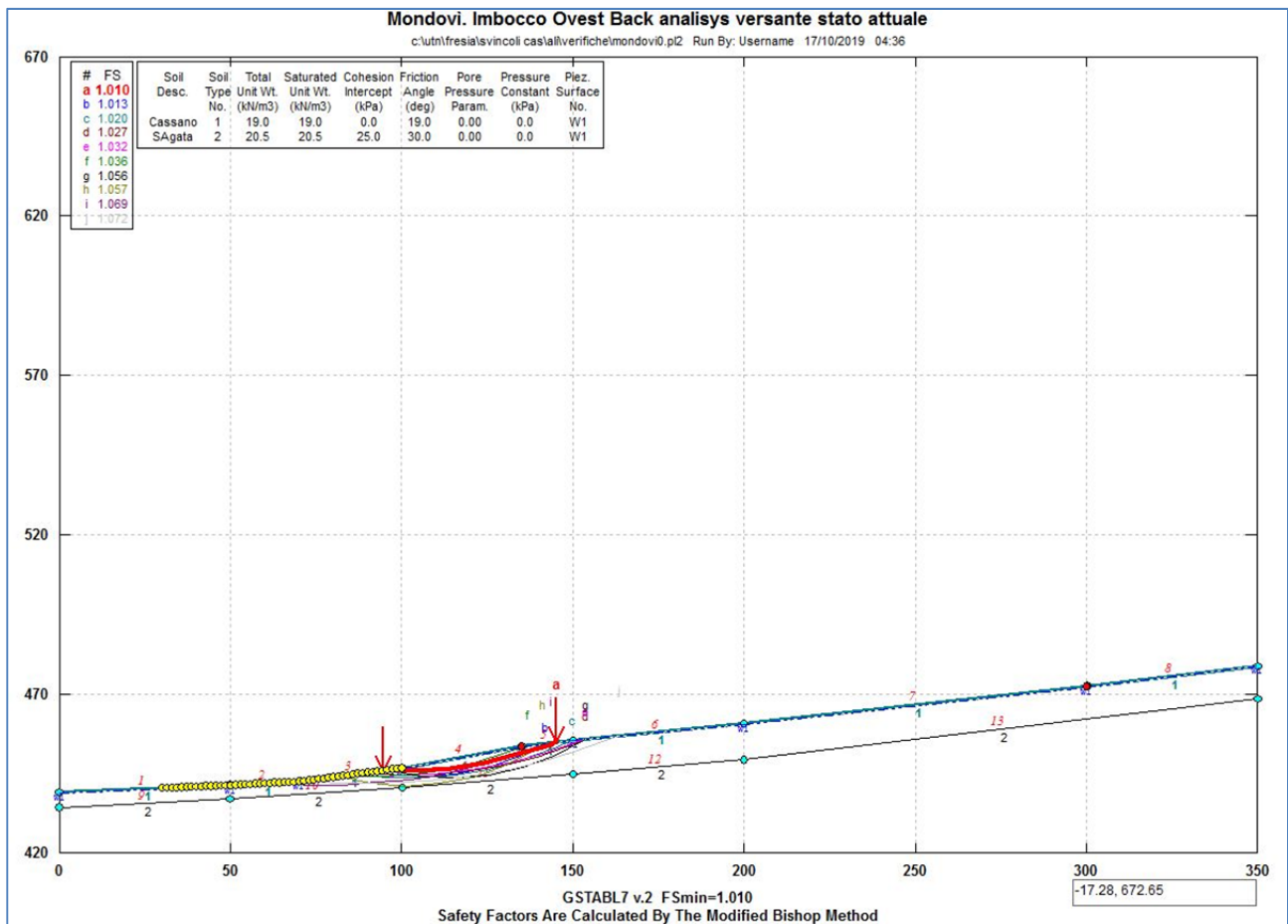


Figura 7.12 Collina di S. Lorenzo. Versante ovest in zona imbocco. La back analysis dimostra come un coefficiente di sicurezza prossimo all'unità si raggiunga con falda a piano campagna, coesione nulla e angolo d'attrito di circa 19°

7.3.2 Unità Sa. Marne di S. Agata Fossili

Sono marne e marne argillose di colore grigio chiaro, talora fossilifere, eterogenee più a livello strutturale che granulometrico, intercettate dagli scavi in galleria ai due estremi della galleria, nelle fondazioni profonde del viadotto Ellero e del Ponte sull'Ermene. Sono materiali complessi prelevati, complice anche il disturbo arrecato in fase di carotaggio, ora come campioni rimaneggiati, ora come indisturbati ora come litoidi (è stato classificato come litoide circa il 60% dei campioni). Dai risultati delle prove di laboratorio, visionate le cassette dei sondaggi (si veda la documentazione fotografica) e visti i risultati delle indagini geofisiche, dove dalle prove sismiche a rifrazione agli imbocchi le Vs sono crescenti verso il basso da 700 m/s a 1.000 m/s, mentre dalle Masw e dalle down hole risultano valori di Vs fra 700-800 m/s, si ritiene che tali marne possano essere prevalentemente classificate nel campo delle rocce tenere (weak rocks). Trattasi quindi di materiali di transizione fra terre e rocce il cui comportamento è influenzato dallo stato tensionale: a tensioni modeste esibiscono un comportamento simile a quello di una roccia (alta rigidità, legame tensione deformazione quasi lineare, rottura fragile) ma ad alte tensioni mostrano il comportamento di un terreno (bassa rigidità, comportamento duttile, grandi deformazioni a rottura)

come rappresentato in Figura 7.13. Ciò non toglie che allo scavo potranno comunque incontrarsi zone con caratteristiche più terrose alternate in maniera irregolare ed altre con caratteristiche lapidee o pseudolapidee.

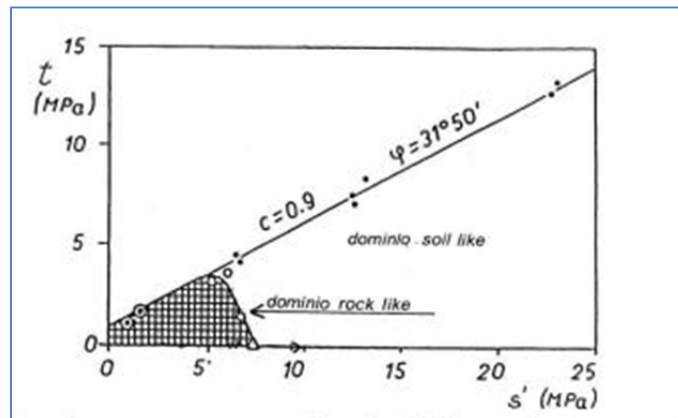


Figura 7.13 Involuppo della rottura in roccia tenera con indicazione del dominio lapideo e pulverulento (Tufo napoletano, da Pellegrino 1968)

Trattandosi di depositi torbidici, e come tali tipicamente eterogenei, alla prevalente facies marnosa si affiancano subordinate intercalazioni conglomeratiche, arenacee, sabbiose e ghiaiose via via più frequenti nella parte inferiore della successione e che, laddove meglio individuabili, nel profilo geologico e in quello geotecnico sono graficamente rappresentate a parte (unità Sar) anche se dal punto di vista della caratterizzazione geotecnica non sono differenziate. Il passaggio fra una facies e l'altra non è dettato da regole geologiche certe e può avvenire in spazi anche brevi.

Laddove l'unità risulta subaffiorante è spesso presente una coltre di alterazione argilloso marnosa da poco a mediamente consistente di colore marrone (indicata con la sigla Saa), riportata sul profilo geologico e geotecnico lungo il versante est della collina di S Lorenzo, entro la quale possono svilupparsi frane tipo colata ad andamento tipicamente stagionale. Per essa non viene fornita la caratterizzazione geotecnica in quanto resta confinata in aree a monte ed esterne rispetto quelle interessate dai lavori.

Una tale variabilità ed eterogeneità è stata ben evidenziata dalla campagna d'indagine 2019, nel corso della quale molti sondaggi hanno più o meno estesamente interessato questa formazione. Evidenti sono infatti zone più marnose ed altre più arenacee oltre ad alcuni livelli eterogenei.

Lo stato di fratturazione ed alterazione denunciato dai sondaggi è anch'esso fortemente variabile, il che in parte è attribuibile alle caratteristiche intrinseche della formazione (maggiore/minore cementazione locale e/o effetto dell'alterazione superficiale) in parte probabilmente imputabile al disturbo arrecato in fase di carotaggio. A questo si aggiunge il fatto che, come evidenziato da Hoek nel lavoro *"Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses (1)"*, materiali di origine molassica (o flyschioide) possono manifestare, quando esposti all'aria, fenomeni di alterazione con una significativa perdita di

struttura e resistenza tanto maggiori quanto più prolungata è la durata dell'esposizione. L'autore in questi casi consiglia di eseguire le prove di laboratorio nel tempo più breve possibile al fine di evitare risultati che potrebbero condurre ad un approccio eccessivamente conservativo.

Nel complesso nel corso della campagna 2019 si sono prelevati numerosi campioni da trasmettere al laboratorio, di cui oltre il 60% è rappresentato da campioni classificati come litoidi sottoposti a prove di compressione semplice, Point Load Test e resistenza a trazione. Le caratteristiche dei terreni sono tali che la quasi totalità dei rimanenti campioni sono stati classificati come rimaneggiati e sottoposti a prove di classificazione granulometrica, taglio diretto e triassiale la cui attendibilità è condizionata al grado di disturbo arrecato al campione. Molto rari (due in tutto) i campioni classificati come indisturbati ed i cui parametri ottenuti dalle prove, peraltro, sono perfettamente allineati ai campioni rimaneggiati. Da segnalare inoltre come la classificazione dei campioni (da rimaneggiato a lapideo o viceversa) sia stata talvolta modificata in laboratorio all'atto dell'apertura del campione confermando una spiccata complessità strutturale e, forse, un'alterabilità del materiale nel tempo.

La determinazione del peso di volume, realizzata sia sui campioni rimaneggiati che su quelli litoidi, Figura 7.14, indica un peso medio di 20.5 kN/m³. La reazione all'HCL è generalmente vivace ad eccezione di limitati orizzonti a carattere prevalentemente quarzítico.

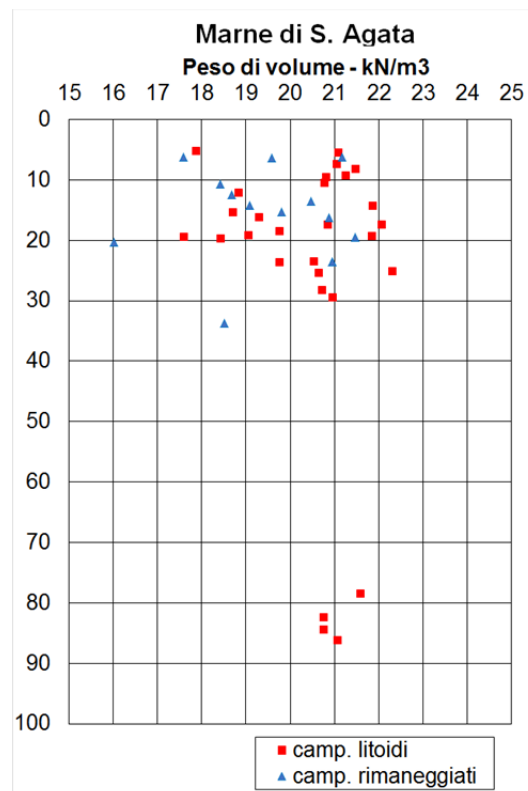


Figura 7.14 Marne di S. Agata Fossili: campioni litoidi e rimaneggiati - peso di volume

Con riferimento ai campioni rimaneggiati sono disponibili numerose analisi granulometriche che mettono in luce una composizione fondamentale limoso argilloso sabbiosa (limo 30-50%, argilla 10-35%, sabbia 20-35%)

con una subordinata frazione ghiaiosa rilevata solo localmente, determinazione dei limiti di Atterberg e prove di classificazione UNI 10006 che indicano una categoria A6 o A7, Figura 7.15. Le prove di taglio diretto e triassiali evidenziano valori dell'angolo di attrito di 30°-35° con una coesione efficace di 25-40 kPa, Figura 7.16. Come anticipato sono disponibili due campioni classificati come indisturbati, prelevati nei sondaggi S12 ed S02, che sottoposti rispettivamente a prova triassiale e taglio diretto giungono a risultati analoghi a quelli precedentemente esposti per provini rimaneggiati, a conferma del disturbo comunque indotto dalle operazioni di carotaggio, prelievo e/o confezionamento del provino.

La coesione non drenata estrapolata dalle compressioni semplici ELL, da triassiali UU e dalle SPT, Figura 7.17, denota un materiale sovraconsolidato in superficie, che alle massime profondità indagate si presenta normalconsolidato.

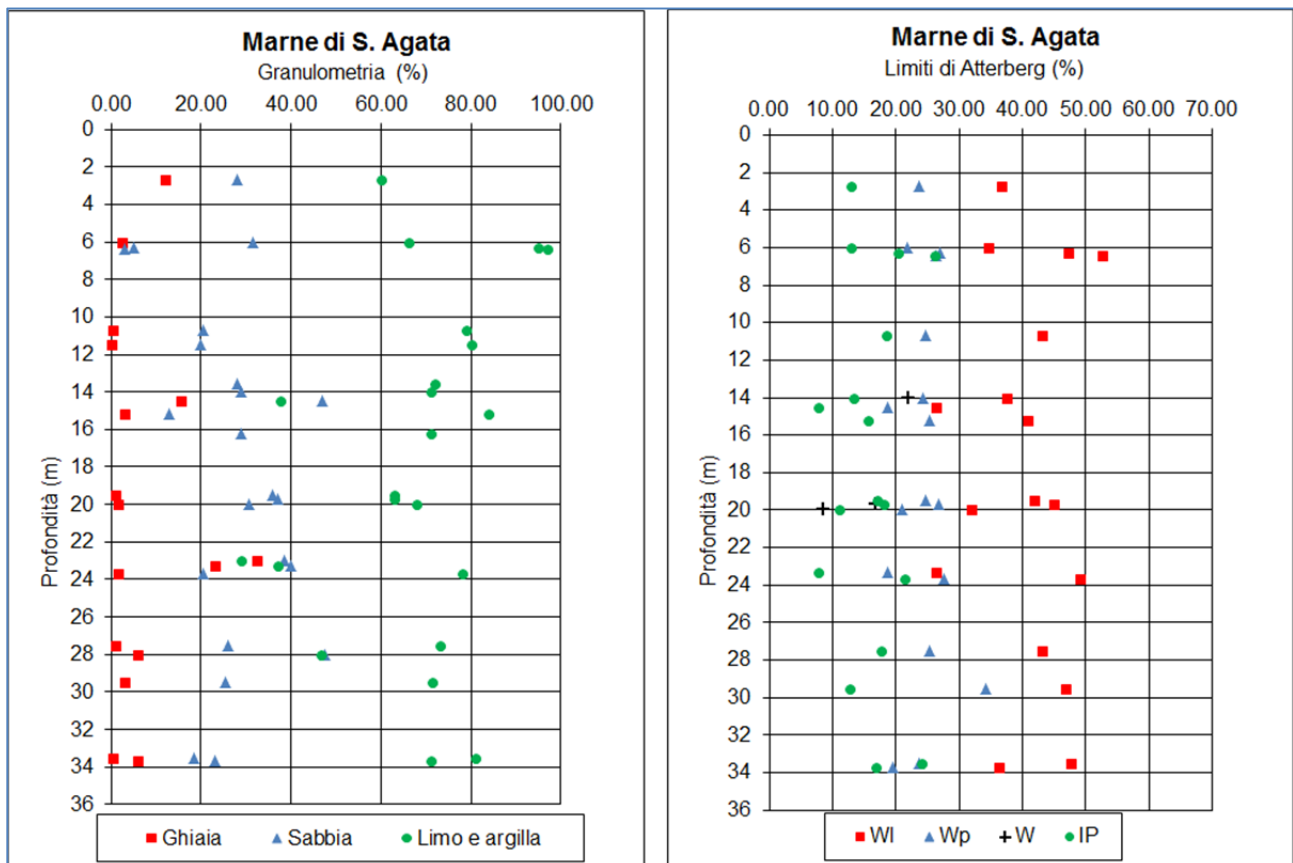


Figura 7.15 Marne di S. Agata Fossili: campioni rimaneggiati - granulometria e limiti di Atterberg

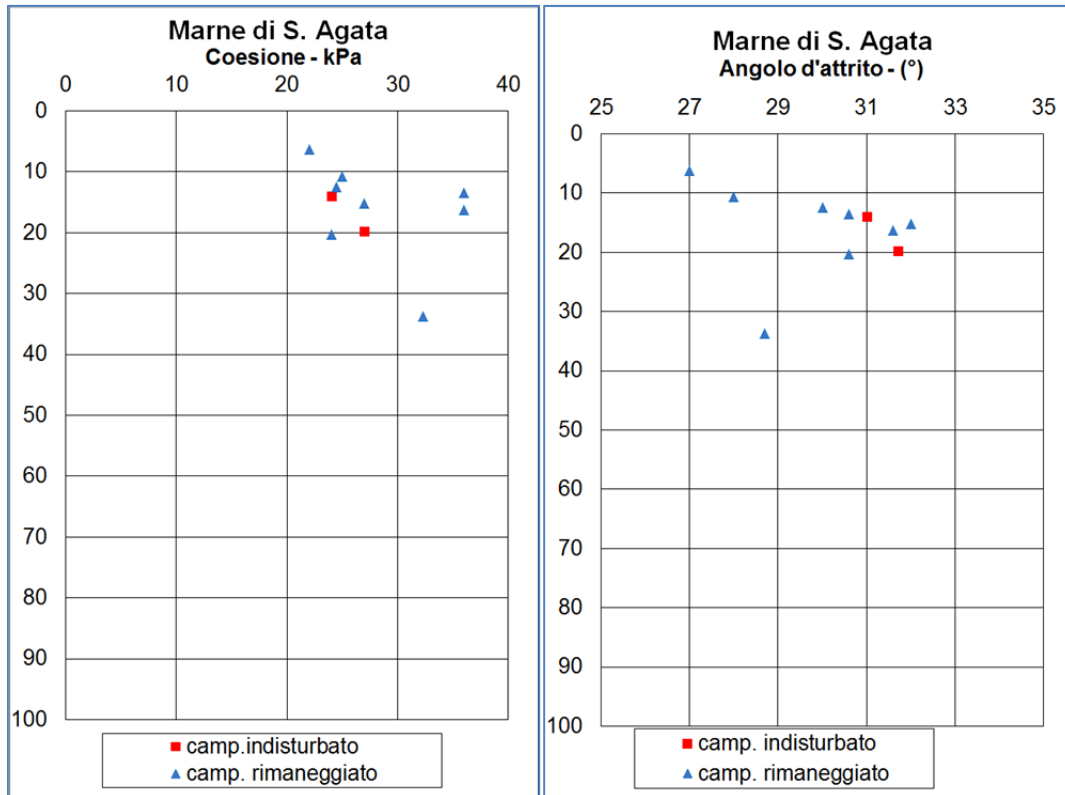


Figura 7.16 Marne di S. Agata Fossili: campioni rimaneggiati - coesione ed angolo di attrito efficace

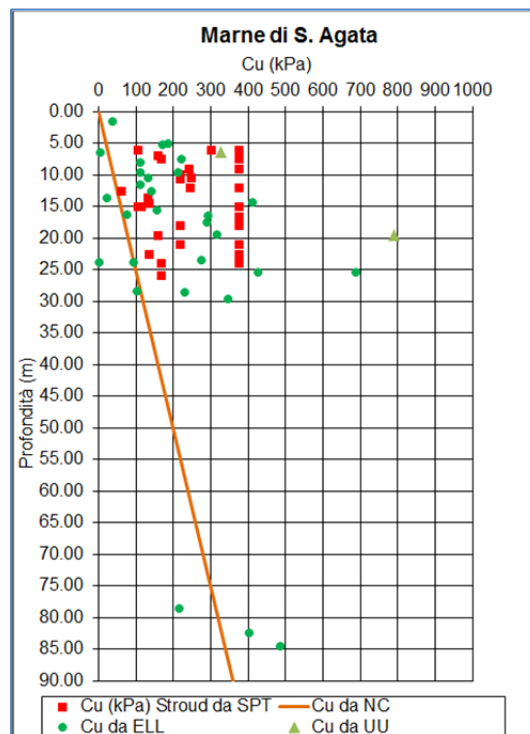


Figura 7.17 Marne di S. Agata Fossili: campioni rimaneggiati - coesione non drenata

Le prove eseguite sui campioni lapidei indicano uno scenario diverso che meglio si correla ad una roccia tenera ed alle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio. I risultati delle prove di compressione semplice (CX) e Point

Load (PLT) sono proposti nel seguente grafico di Figura 7.18 a sinistra. Le prove PLT forniscono in output l'indice di resistenza $Is(50)$, che in questa sede è stato messo a confronto con la resistenza a compressione da prove CX adottando un fattore di correlazione pari a 15. L'eterogeneità strutturale di cui si è parlato in precedenza è di nuovo evidente in questi risultati, con valori di resistenza a compressione semplice variabili fra 0.6 e 13 MPa con un valore medio di 4 MPa.

Nel corso delle prove di compressione è stato anche possibile monitorare le deformazioni dei provini al crescere del carico e quindi definire il correlato modulo elastico, i cui risultati in termini di modulo secante e tangente sono visibili nel grafico di Figura 7.18 a destra. Si rileva nuovamente la già citata eterogeneità con valori dispersi da 400 a 4.000 MPa. Il grafico riporta anche i risultati delle prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio S09 ed S10, posti nella zona interessata dalla galleria naturale i cui valori sono compresi tra 500 e 1.000 MPa. La differenza tra i valori di laboratorio e in sito è legata al fattore di scala che caratterizza la prova; in questo senso il modulo E derivato dalle prove dilatometriche è certamente più rappresentativo del comportamento complessivo dell'ammasso roccioso alla scala delle opere. A conferma di questo facendo riferimento alla già citata pubblicazione (1) di Hoek relativa alla caratterizzazione dei depositi sedimentari, l'autore indica la seguente relazione che lega la resistenza a compressione semplice della roccia intatta σ_{ci} al modulo elastico dell'ammasso roccioso, i cui risultati sono ben allineati con i valori sperimentali:

$$E = 200 \times \sigma_{ci} = 200 \times 4 = 800 \text{ MPa}$$

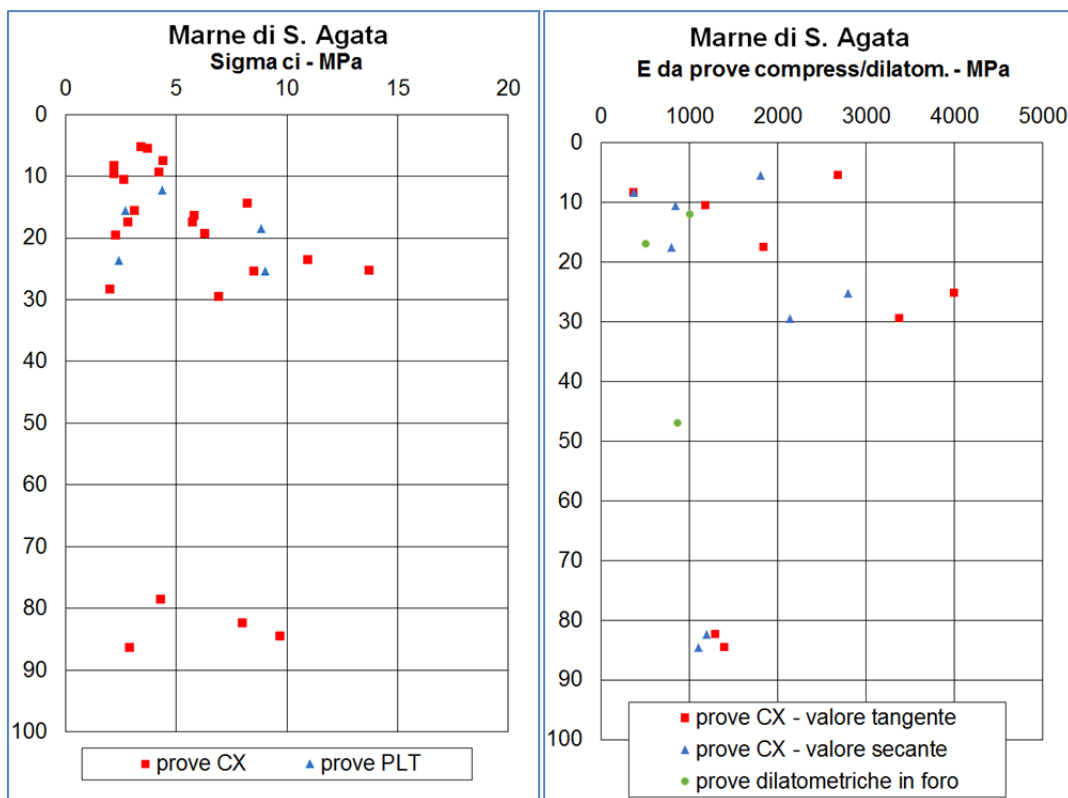


Figura 7.18 Marne di S. Agata Fossili: campioni litoidi - resistenza a compressione e modulo elastico

Per la caratterizzazione dell'unità in esame si è ritenuto quindi adeguato riferirsi alla formazione come ad una roccia tenera, caratterizzata da una struttura ben definita che si correla ad una resistenza a compressione piuttosto bassa. In questo senso le prove di laboratorio eseguite sui campioni rimaneggiati possono essere ritenute rappresentative di una condizione di resistenza residua, o intermedia fra la condizione residua e quella di picco, in quanto il rimaneggiamento porta ad una significativa perdita di resistenza coesiva. Questa evidenza trova conferma nei risultati delle prove dilatometriche in foro e nell'osservazione delle carote di sondaggio che, anche in corrispondenza dei punti di prelievo dei campioni rimaneggiati, mostrano spesso una struttura lapidea o pseudolapidea che a tratti subisce un rimaneggiamento più accentuato in virtù della scarsa resistenza meccanica che la caratterizza.

Il lavoro di Hoek più volte citato (1) sottolinea come in materiali massivi privi di evidenti discontinuità stratigrafiche e strutturali l'ammasso possa essere considerato intatto e i valori di resistenza e deformabilità possono essere estratti da prove di laboratorio su campioni effettivamente indisturbati. Per ammassi molassici con significative discontinuità è più opportuno stimare il valore di GSI per "scalare" la resistenza della roccia intatta in accordo con il criterio di Hoek-Brown.

Ciò detto per la caratterizzazione delle Marne di S. Agata Fossili si è fatto riferimento al criterio di Hoek & Brown (Hoek & Marinos 2000) ed alle classificazioni geomeccaniche GSI ed RMR. La caratterizzazione qui proposta descrive in termini medi la formazione in esame mentre le evidenze puntuali fornite dai sondaggi e dalla tomografia elettrica permettono di suddividere il tracciato in aree omogenee che si differenziano per il grado di fratturazione e cementazione atteso.

La classificazione di Bieniawsky, riepilogata in Figura 7.19, consente di determinare i seguenti indici di classificazione dell'ammasso:

- $RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$
- $RMR89 = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$, escludendo il termine $R6$ relativo all'orientazione dei giunti rispetto alla direzione di avanzamento
- $RMR'89 = R1 + R2 + R3 + R4 + 15$ (ovvero $R5$ pari a 15 per una condizione idraulica asciutta).

Per quanto riguarda l'indice GSI - Geological Strength Index -, il suo valore può essere ottenuto a partire dall' $RMR'89$ mediante la correlazione $GSI = RMR'89 - 5$, o in alternativa utilizzando gli abachi proposti da Hoek e specifici per diverse tipologie di rocce; si veda a riguardo la seguente Figura 7.20 che riporta nella parte superiore l'abaco valido per ammassi molassici confinati in profondità e nella parte inferiore quello per ammassi molassici superficiali, che si caratterizzano per un comportamento maggiormente fessile. Nel caso in esame dal momento che le opere in progetto interessano la formazione di S. Agata con coperture ridotte si può fare riferimento all'abaco per ammassi fessili superficiali.

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core Quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press)/(Major principal σ)	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating			6	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)			None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Ratings			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis				Strike parallel to tunnel axis					
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°		Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°			
Very favourable		Favourable		Very unfavourable		Fair			
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°		Dip 0-20 - Irrespective of strike°					
Fair		Unfavourable		Fair					

Figura 7.19 Classificazione di Bieniawsky con punteggio di attribuzione ai vari parametri e distinzione delle classi

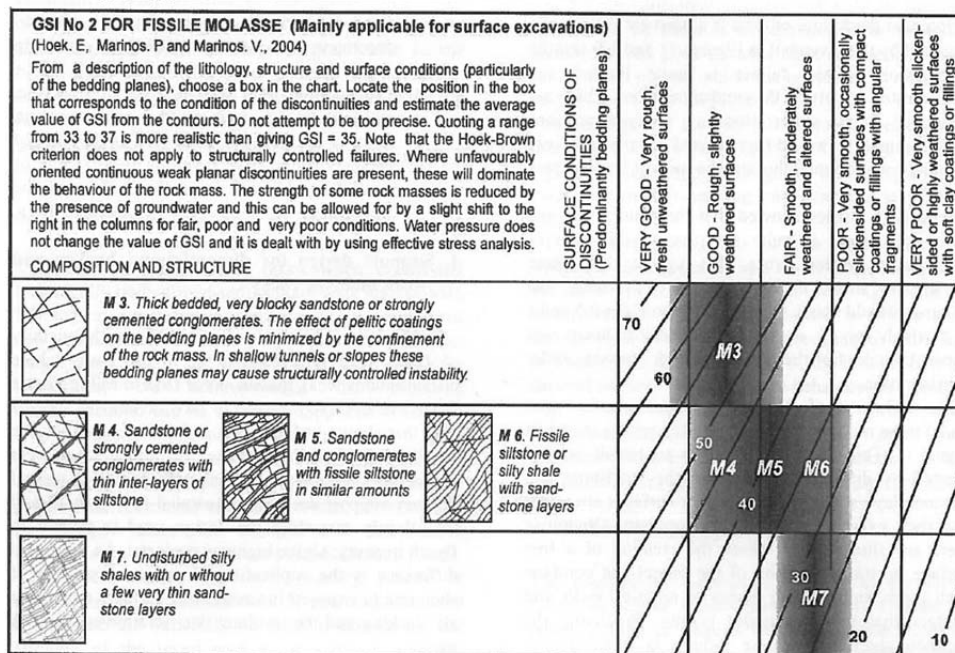
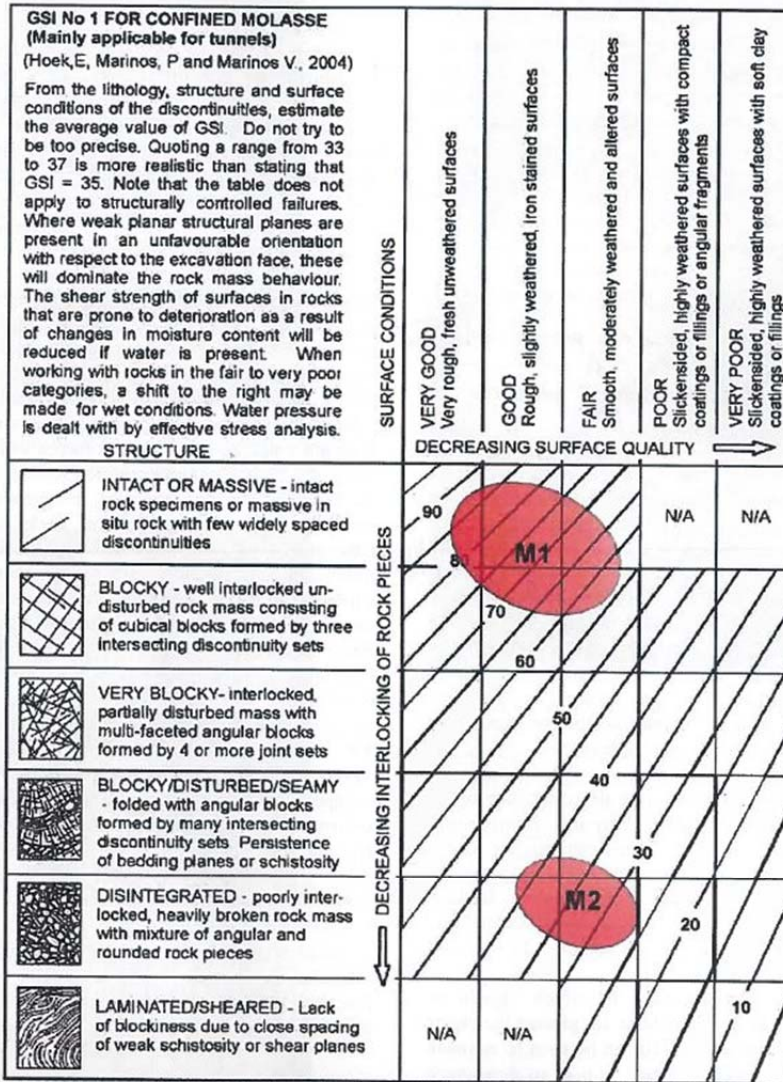


Figura 7.20 Abachi per la valutazione del GSI per ammassi sedimentari di scarsa resistenza (flysch e molasse)

Sulla base delle caratteristiche medie del materiale dedotte dalle prove di laboratorio e dalle osservazioni effettuate sulle cassette (l'unità stratigrafica non affiora) alla formazione delle Marne di S. Agata Fossili ricadente nell'area in studio sono stati attribuiti i parametri di RMR'89, RMR89, GSI ed RMR riepilogati in

Marne di S. Agata Fossili (rif. Sondaggio S06)			
Parametro		Valore	Rating
R1	Resistenza roccia intatta (Mpa)	1-5 Mpa	1
R2	RQD (%)	10-30%	3
R3	Spaziatura discontinuità	80-200mm	8
R4	Condizioni giunti	Poco continui, accostati, lisci, moderatamente alterati	12
R5	Condizione idraulica	Stillicidio	4
R6	Orientazione discontinuità	Mediocre	-5
RMR 89 (R1+R2+R3+R4+R5)			28
RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)			39
RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)			23
GSI			34
lower bound			

Tabella 7.1 per i valori di lower bound, e Tabella 7.2 per i valori di upper bound. Per l'orientazione delle discontinuità si è considerata una direzione di scavo da ovest verso est, il che significa condizioni di sostanziale franapoggio rispetto alla stratificazione.

Il sondaggio di riferimento è S06, che interessa la galleria lato Ovest e ben descrive diffuse alternanze di marne sabbiose con livelli arenacei, conglomeratici e a tratti sabbiosi (Figura 7.21). La differenza fra le due tabelle è attribuita all'indice RQD il cui valore atteso cresce da un intervallo 10-30% per la porzione superficiale agli imbocchi fino a 25-40% nel tratto successivo. Discorso diverso vale per un tratto centrale della galleria naturale per il quale non sono disponibili sondaggi ma una tomografia elettrica che indica una evidente riduzione della resistività, cui si associa la presenza di marne aventi grado di fratturazione in linea con quanto atteso in zona d'imbocco.

Questa stessa formazione è stata intercettata anche da altri sondaggi lungo lo sviluppo della galleria, quali ad esempio S08 e S09, che hanno rilevato a maggiori profondità orizzonti più omogenei di marne grigie caratterizzate da RQD anche più elevati (50-80%), in tratti in cui però le opere in progetto risultano all'interno della sottostante Formazione di Lequio.

Marne di S. Agata Fossili (rif. Sondaggio S06)			
Parametro		Valore	Rating
R1	Resistenza roccia intatta (Mpa)	1-5 Mpa	1
R2	RQD (%)	10-30%	3
R3	Spaziatura discontinuità	80-200mm	8
R4	Condizioni giunti	Poco continui, accostati, lisci, moderatamente alterati	12
R5	Condizione idraulica	Stillicidio	4
R6	Orientazione discontinuità	Mediocre	-5
RMR 89 (R1+R2+R3+R4+R5)			28
RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)			39
RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)			23
GSI			34
lower bound			

Tabella 7.1 Marne di S. Agata Fossili: classificazione geomeccanica di lower bound

Marne di S. Agata Fossili (rif. Sondaggio S06)			
Parametro		Valore	Rating
R1	Resistenza roccia intatta (Mpa)	1-5 Mpa	1
R2	RQD (%)	25-40%	6
R3	Spaziatura discontinuità	80-200mm	8
R4	Condizioni giunti	Poco continui, accostati, lisci, moderatamente alterati	12
R5	Condizione idraulica	Stillicidio	4
R6	Orientazione discontinuità	Mediocre	-5
RMR 89 (R1+R2+R3+R4+R5)			31
RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)			42
RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)			26
GSI			37
upper bound			

Tabella 7.2 Marne di S. Agata Fossili: classificazione geomeccanica di upper bound



Figura 7.21 Sondaggio S06 tra 10 e 20 m, all'altezza della galleria naturale

Se ne deduce per le marne di S Agata un **GSI 34-37** (ritenuto rappresentativo di un range stimabile fra 30-40), un **RMR89 di riferimento compreso tra 28 e 31** ed un **RMR di 23-26** cui compete, secondo il Bieniawsky, una classe IV scadente. Con riferimento all'abaco di Figura 7.20 la categoria che meglio descrive le condizioni medie dell'ammasso marnoso è, correttamente, quella denominata M5.

Quanto sopra premesso per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento al criterio di rottura di Hoek-Brown che può essere genericamente espresso sulla base della seguente espressione:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Con:

σ_1 e σ_3 = sforzi efficaci principali rispettivamente minimo e massimo a rottura;

m_b , s ed a = costanti dell'ammasso, dove $s = 1$ per roccia intatta (matrice);

σ_{ci} = resistenza a compressione della roccia intatta.

I parametri costitutivi "s", "a" ed "m_b" che caratterizzano l'ammasso roccioso possono essere ricavati sulla base dell'indice empirico GSI. Le correlazioni di riferimento sono quelle indicate da Hoek et alii nella riformulazione dell'involuppo del 2002 ovvero:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Con:

m_i = parametro empirico che definisce l'inclinazione dell'involuppo della roccia intatta e dipende dalla litologia.

D = parametro di danneggiamento dell'ammasso funzione del metodo di scavo; varia fra 0 (roccia non disturbata) e 1 (roccia molto disturbata).

Il prima approssimazione il modulo di deformazione dell'ammasso roccioso è stato ricavato dalla formulazione proposta da Hoek in (1) E = 200 x σ_{ci} = 200 x 4 = 800 MPa, un valore in linea con le prove di dilatometriche in foro.

Dato che molti programmi di calcolo richiedono l'introduzione dei parametri di resistenza del terreno secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, è possibile derivare l'angolo d'attrito e la coesione equivalente dell'ammasso roccioso per linearizzazione dell'involuppo di Hoek-Brown nell'intorno della tensione litostatica "σ_{3max}" (con "σ_{3n} = σ_{3max}/σ_{ci}) tramite:

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[(1+2a)s + (1-a)m_b \sigma'_{3n} \right] (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \left(6am_b (s + m_b \sigma'_{3n})^{a-1} \right) / ((1+a)(2+a))}}$$

Quanto sopra premesso si riepilogano i valori di ingresso adottati per il calcolo della resistenza dell'ammasso:

- γ = 20.5 KN/m³
- σ_{ci} = 4 MPa che rappresenta il valore medio ricavato dalle prove di compressione semplice
- m_i = 7 che è il valore suggerito da Hoek per ammassi marnosi

- $D = 0.20$ riferito ad un terreno moderatamente disturbato dalle operazioni di scavo.

Considerando una profondità media dell'opera di 20 m da p.c., rappresentativa dei tratti di galleria alle due estremità dell'opera, ed un indice GSI medio variabile tra 30 (assunto prudentemente come valore inferiore del range al posto di 34) e 37, dalla risoluzione delle formulazioni proposte e mediante il programma Roc Lab della Rocscience Inc. si ottengono i seguenti parametri di caratterizzazione alla copertura, Figura 7.22 e Figura 7.23.

h = 20m	GSI = 30	GSI = 37
coesione efficace - kPa	38	45
angolo d'attrito (°)	32	34
modulo elastico (MPa)	500	800

Per la sezione in zona d'imbocco considerando una copertura di 10 m ed il GSI minimo nell'ambito del range considerato (30) si ottengono i seguenti parametri di Figura 7.24:

h = 10m	GSI = 30
coesione efficace - kPa	25
angolo d'attrito (°)	37
modulo elastico (MPa)	500

Nel tratto centrale della galleria naturale dove la copertura raggiunge i 90m ad un GSI medio di 34-35 vengono associati seguenti parametri, Figura 7.25:

h = 90m	GSI = 34-35
coesione efficace - kPa	104
angolo d'attrito (°)	23
modulo elastico (MPa)	700

Per le opere all'aperto e agli imbocchi si considera prudentemente un valore di GSI di 30 con un approccio "slopes" relativo ad opere lungo il pendio in luogo di quello per le gallerie, ottenendo sempre con Roc Lab parametri di resistenza in linea con i valori dedotti dalle prove laboratorio su campioni (Figura 7.26) ed un valore del modulo elastico che può ritenersi indicativo per le condizioni di bassa copertura.

Pendio	GSI = 30
---------------	----------

coesione efficace - kPa	33
angolo d'attrito (°)	34
modulo elastico (MPa)	500

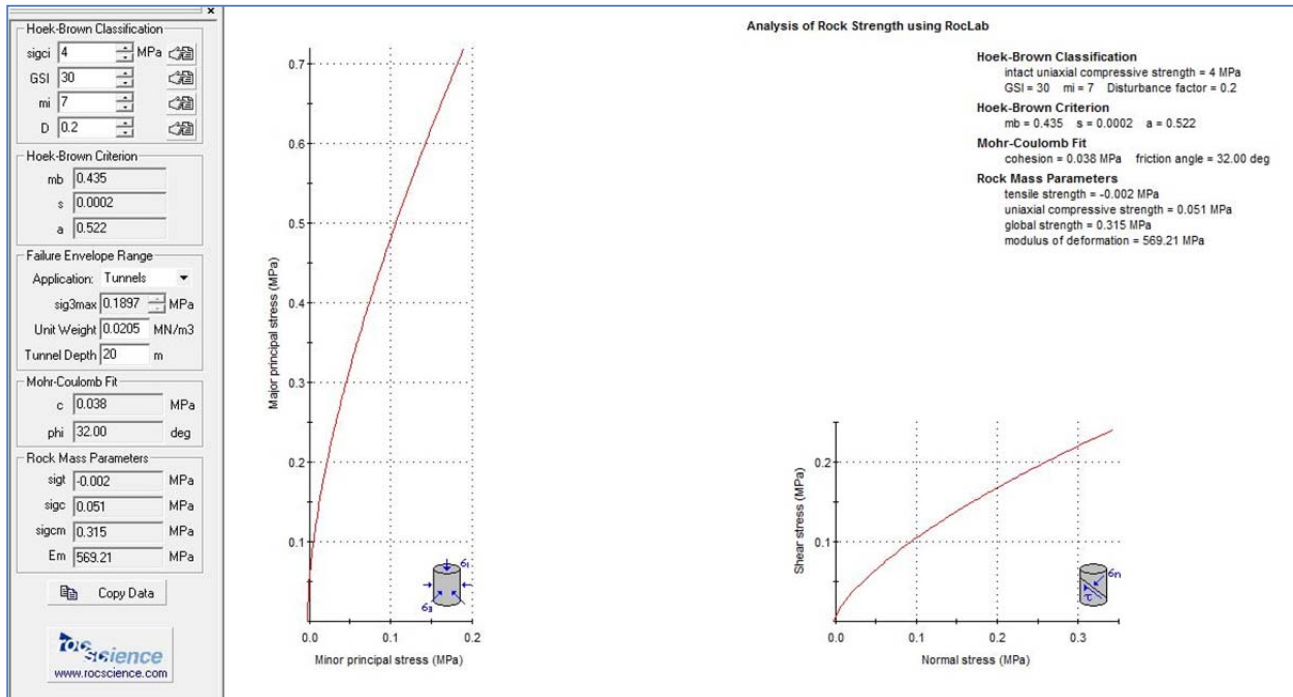


Figura 7.22 Marne di S. Agata Fossili: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 20m e GSI = 30. Lower bound

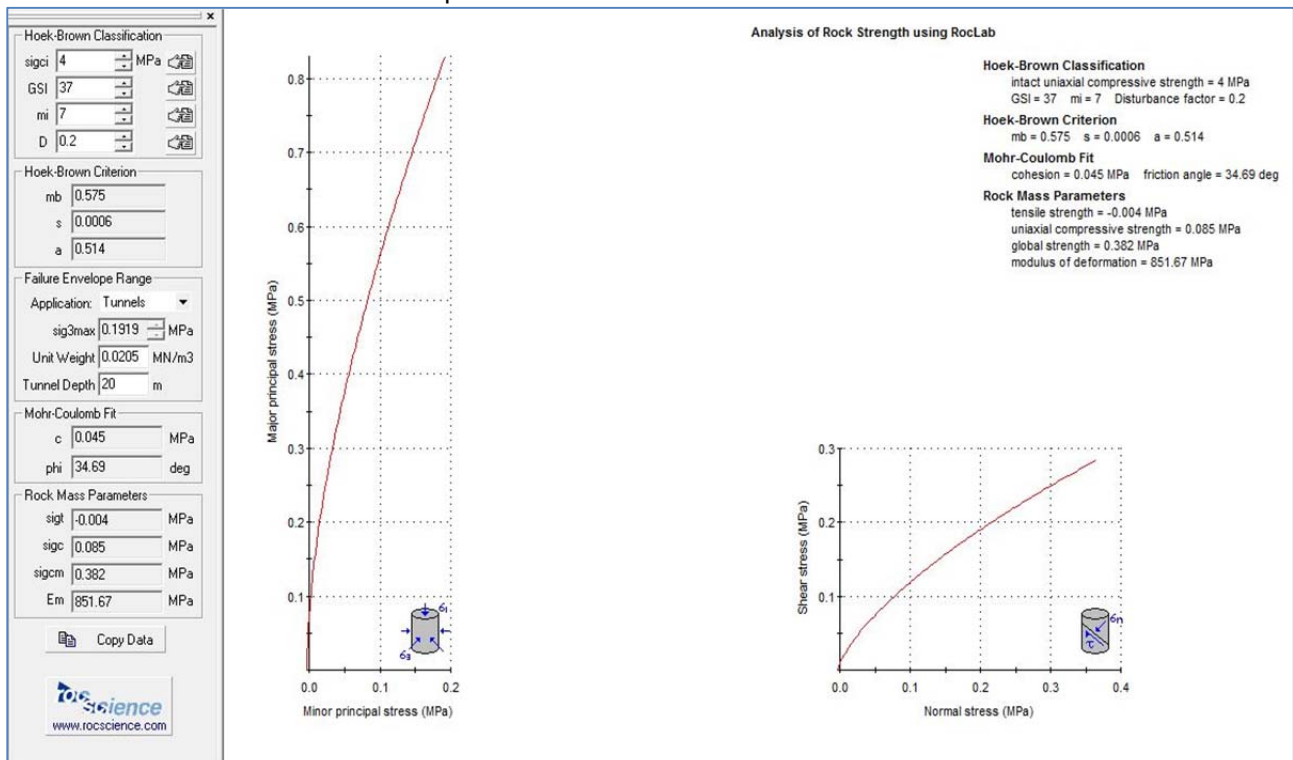


Figura 7.23 Marne di S. Agata Fossili: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 20m e GSI = 37. Upper bound

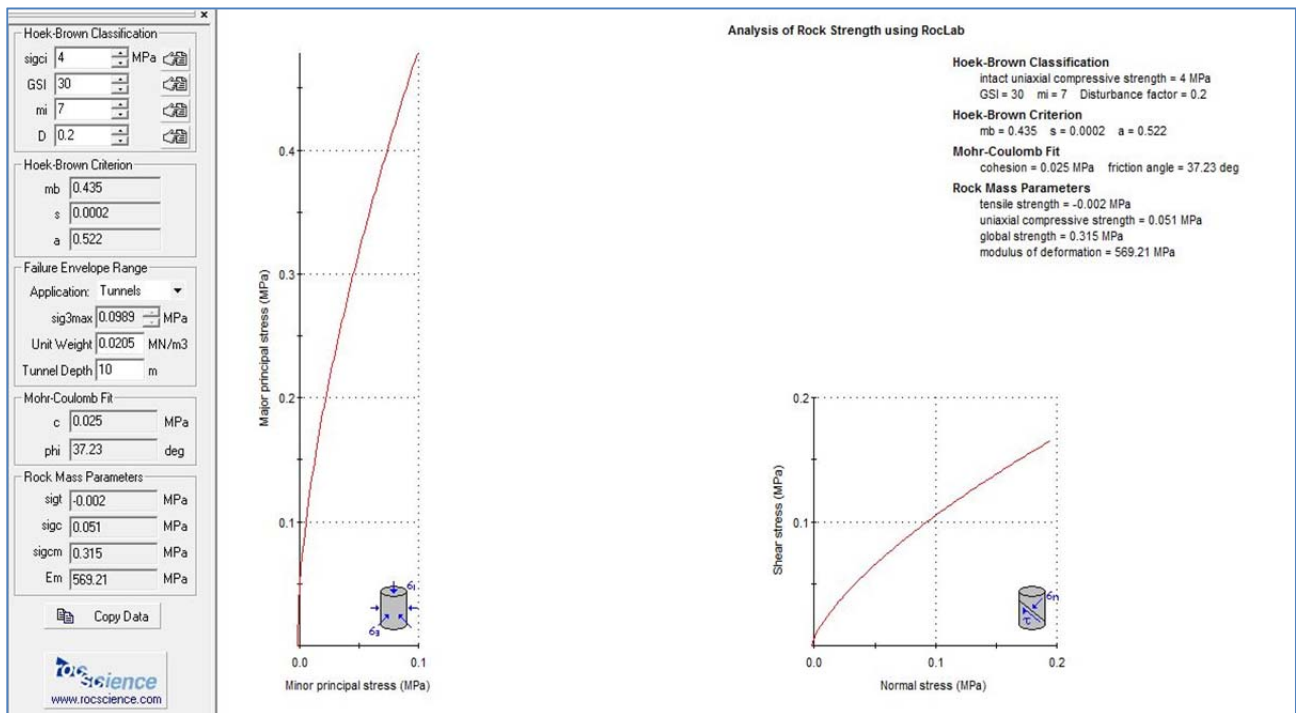


Figura 7.24 Marne di S. Agata Fossili: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb alla sezione d'imbocco con copertura 10m e GSI = 30

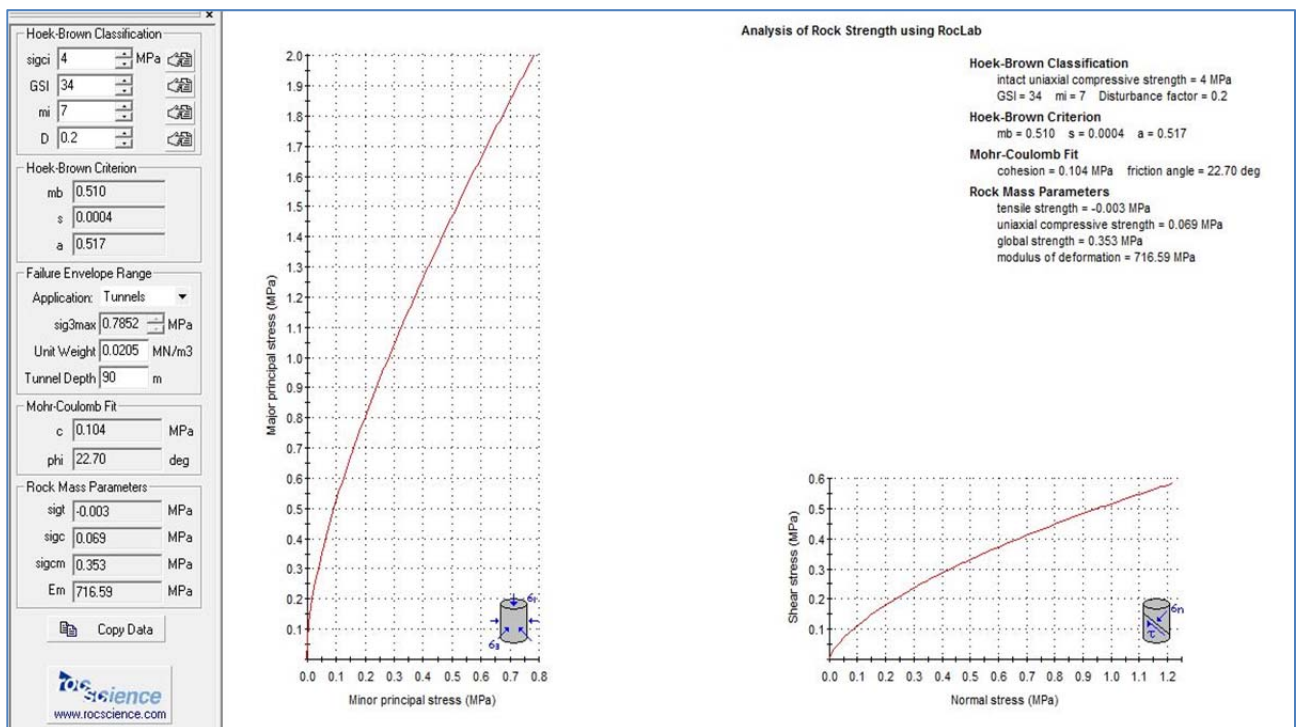


Figura 7.25 Marne di S. Agata Fossili: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 90m.

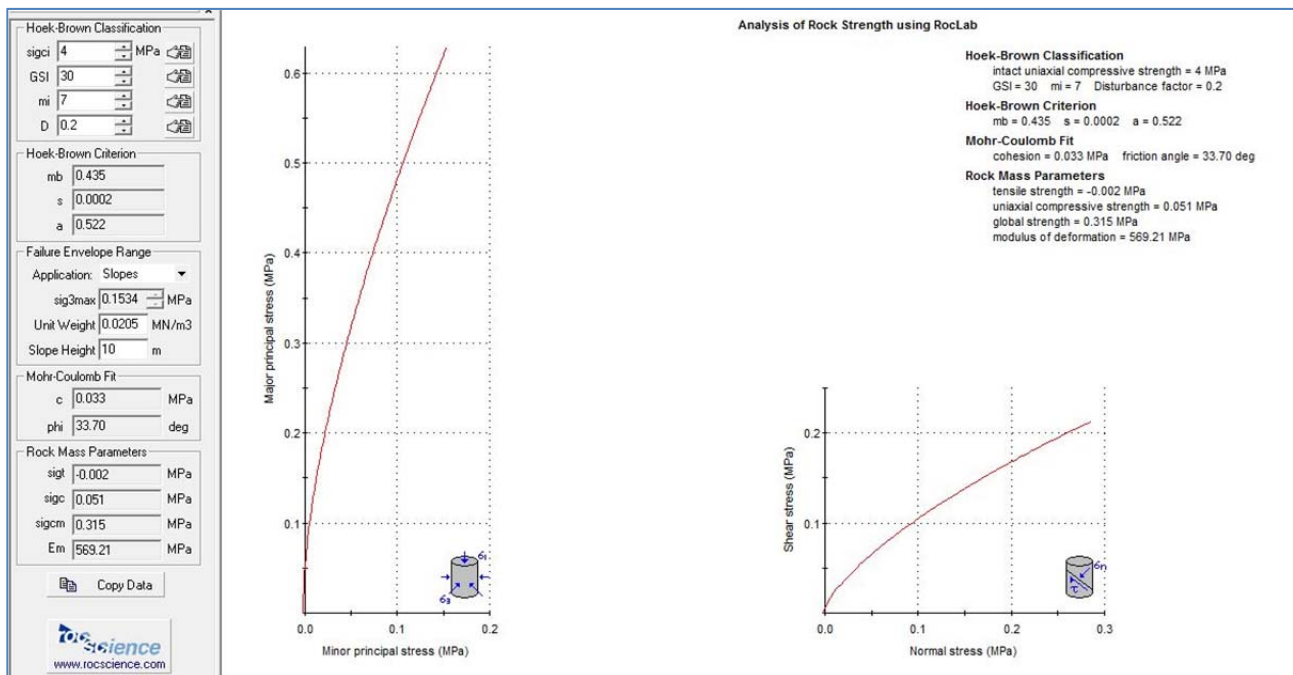


Figura 7.26 Marne di S. Agata Fossili: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb lungo il pendio.

7.3.3 Unità L. Formazione di Lequio

Sono arenarie variamente cementate di colore grigio con subordinate intercalazioni di marne, marne calcaree, conglomerati, sabbie arenacee, calcari e quarziti, intercettate dagli scavi in galleria naturale nelle tratte a maggiore profondità. Come l'unità di S. Agata e al di là del grado di disturbo arrecato in fase di carotaggio si tratta di ammassi strutturalmente complessi classificabili nel campo delle rocce tenere.

Lo stato di fratturazione denunciato dai sondaggi è piuttosto eterogeneo, il che in parte è dovuto alle caratteristiche intrinseche della formazione (maggiore/minore cementazione locale) ed in parte determinato dal disturbo indotto dal carotaggio. Dalle evidenze geognostiche risultano diffusi orizzonti caratterizzati da un indice RQD medio o elevato, che si intervallano a livelli in cui una diversa fratturazione o variazione del grado di cementazione porta ad una notevole riduzione dell'RQD. Non si esclude inoltre la possibilità che nell'unità vi siano componenti/fasce a coesione più bassa se non nulla.

Nel complesso nel corso della campagna 2019 sono stati prelevati numerosi campioni da inviare al laboratorio, di cui oltre il 75% è rappresentato da campioni litoidi su cui si sono eseguite prove di compressione semplice e di resistenza a trazione. I restanti campioni sono stati classificati come rimaneggiati e sottoposti a prove di classificazione granulometrica, prove di taglio diretto e triassiali la cui valenza è limitata in relazione al disturbo arrecato al campione. Le caratteristiche del materiale non hanno permesso il prelievo di campioni classificati come indisturbati.

La determinazione del peso di volume, realizzata sia sui campioni rimaneggiati che su quelli litoidi, Figura 7.27, indica un peso medio di 21 kN/m³. La reazione all'HCL è generalmente vivace ad eccezione di limitati orizzonti a carattere prevalentemente quarzítico.

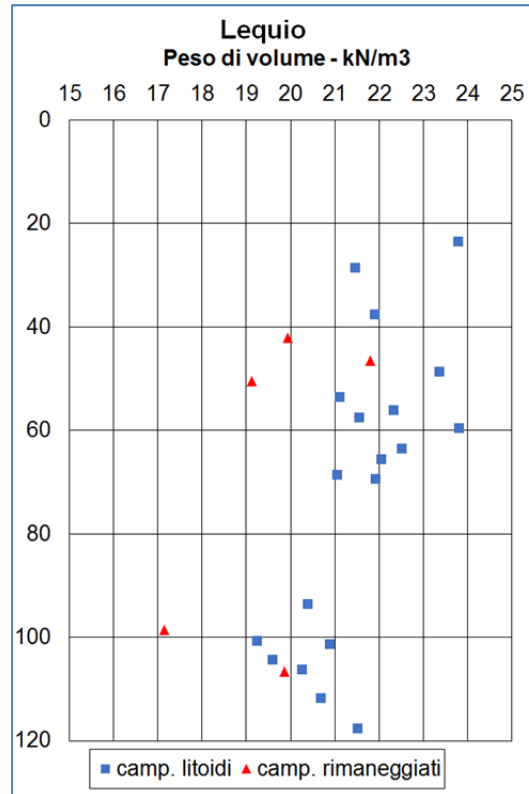


Figura 7.27 Formazione di Lequio: campioni rimaneggiati e litoidi - peso di volume

Su n. 9 campioni rimaneggiati sono state eseguite analisi granulometriche che mettono in luce una composizione prevalentemente sabbioso limoso argillosa, a tratti ghiaiosa (sabbia 30-60%, limo 20-540%, argilla 10%, ghiaia 0-25%), con determinazione dei limiti di Atterberg e prove di classificazione UNI 10006 che indicano una categoria prevalente A4, subordinatamente A2 o A7, Figura 7.29. Le prove di taglio e triassiali, Figura 7.30, evidenziano valori dell'angolo di attrito di 35°-36° ed una coesione efficace di 10-20 kPa, che si ritengono poco rappresentativi per un materiale che dalle cassette risulta spesso lapideo o pseudolapideo. A titolo di esempio la fotografia seguente di Figura 7.28 ritrae lo spezzone di carota da cui si è ricavato il campione CR1 del sondaggio S08, la cui prova di taglio diretto ha restituito angolo d'attrito 36° e coesione efficace 12 kPa. Il confronto tra la visione della carota, caratterizzata da una struttura lapidea, per quanto di modesta resistenza meccanica, ed i risultati della prova di taglio testimoniano chiaramente il disturbo arrecato al provino all'atto di prepararlo e/o collocarlo nella scatola di taglio.



Figura 7.28 Stralcio foto cassetta sondaggio S8 dove fra 98-99 m è stato prelevato il CR1

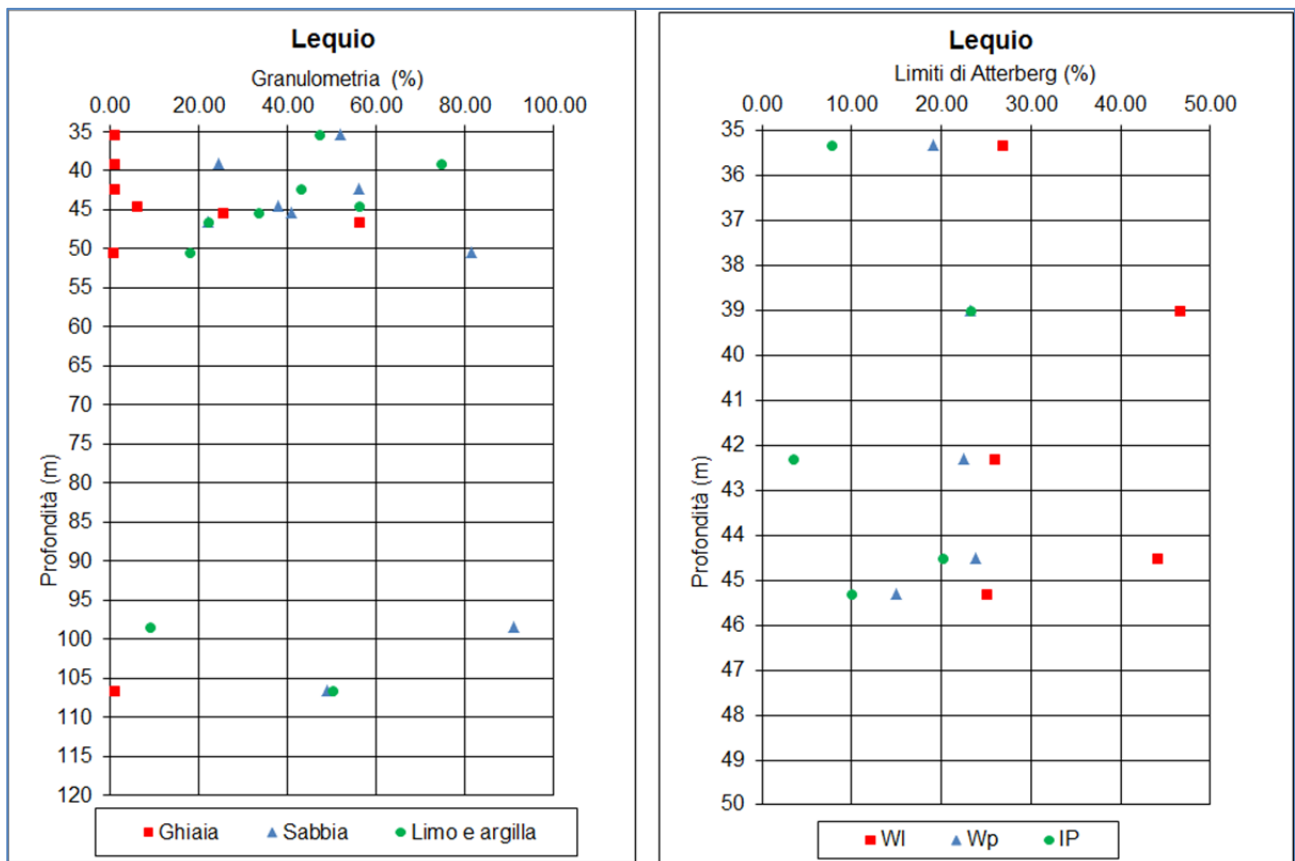


Figura 7.29 Formazione di Lequio: campioni rimaneggiati - granulometrie e limiti di Atterberg

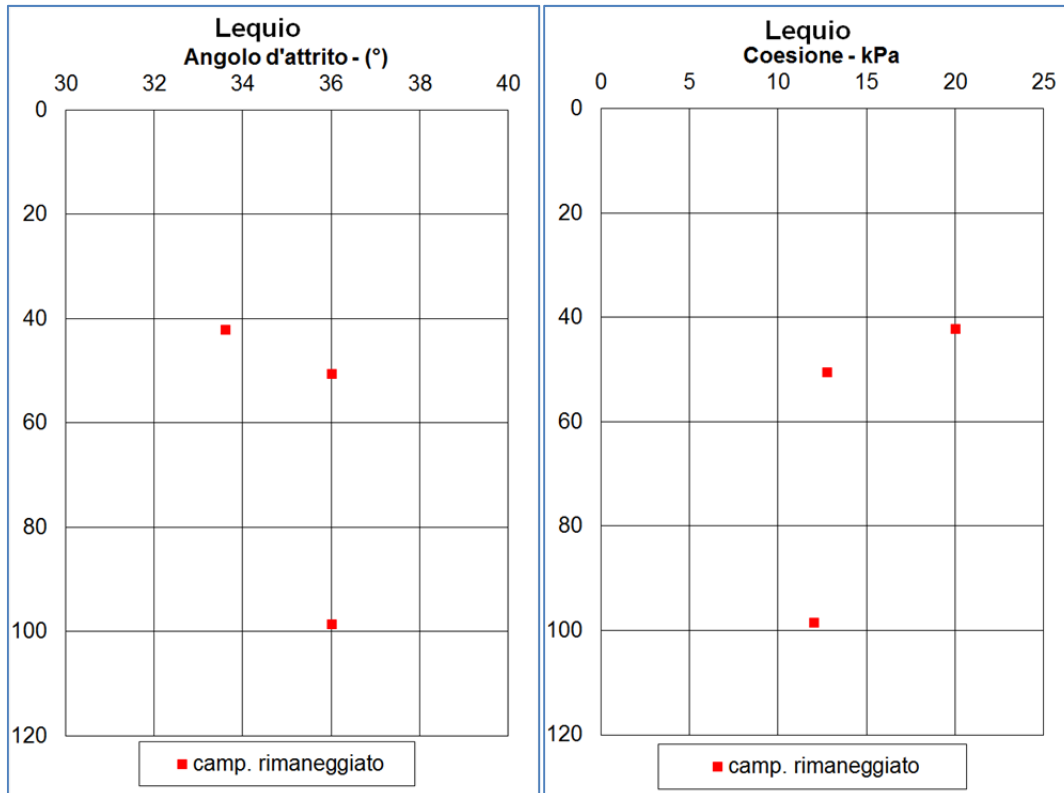


Figura 7.30 Formazione di Lequio: campioni rimaneggiati - coesione e angolo di attrito efficace

Le prove eseguite sui campioni lapidei indicano uno scenario che meglio si correla ad una roccia tenera ed ai risultati delle prove di deformabilità eseguite nei fori di sondaggio. I risultati delle prove di compressione semplice (CX) e trazione (TX) sono proposti nei seguenti grafici di Figura 7.31. L'eterogeneità strutturale che caratterizza questa formazione rocciosa è evidente da valori di resistenza a compressione semplice variabili fra 2 e 10 MPa, con un valore medio di 5.5 MPa ed una resistenza a trazione di 0.25 MPa.

L'unica prova triassiale in roccia, condotta con pressioni di confinamento elevate (2-4-6 MPa) riporta un angolo d'attrito di 45° e coesione di ben 11.6 MPa, valori ritenuti eccessivamente elevati alla scala delle opere.

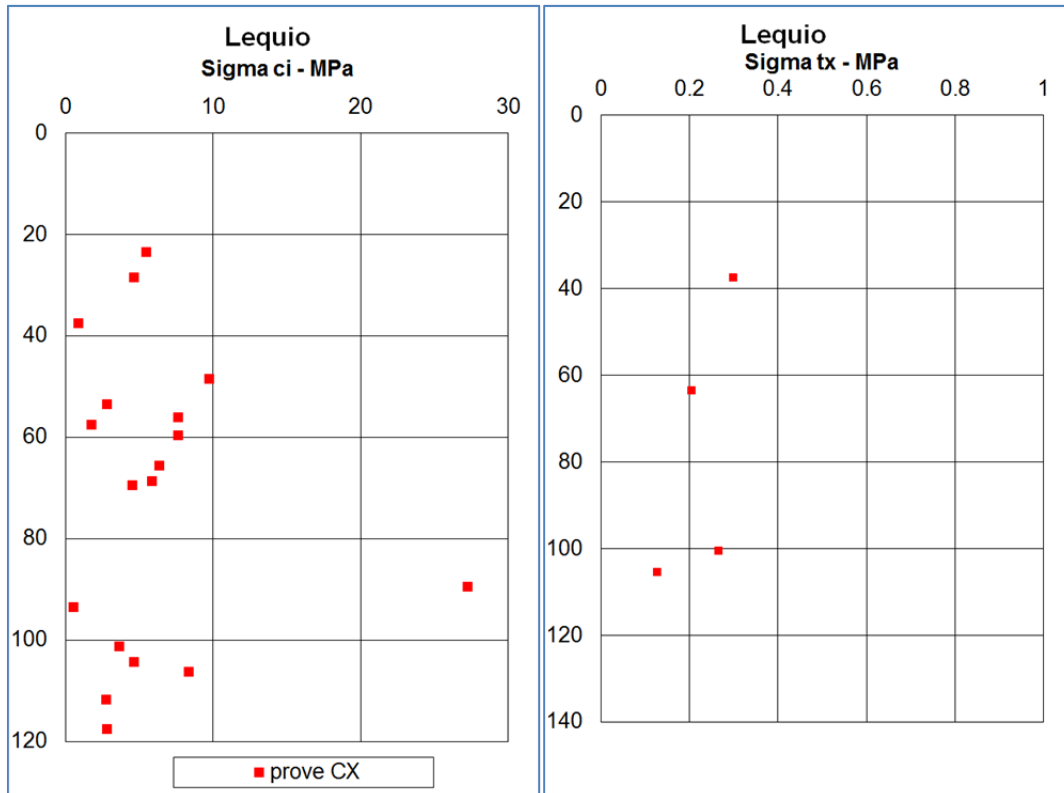


Figura 7.31 Formazione di Lequio: campioni litoidi - resistenza a compressione e trazione

Nel corso delle prove di compressione è stato anche possibile monitorare le deformazioni dei provini al crescere del carico, e quindi definire il correlato modulo elastico i cui risultati in termini di modulo secante e tangente sono visibili nel grafico di Figura 7.33. Si rileva nuovamente la già citata eterogeneità con valori dispersi dai 400 ai 2.400 MPa. Il grafico riporta inoltre i risultati di alcune prove dilatometriche eseguite nei fori di sondaggio S07, S08 ed S09, posti nella zona interessata dalla galleria naturale. In questo caso i risultati sono compresi tra 1.000 e 2.400 MPa. Fa ad eccezione una prova che ha fornito un valore di 15 MPa che, visto l'aspetto litoide della carota nella zona di prova, è probabilmente dovuta alla mancata tenuta del packer, si veda a riguardo la Figura 7.32.



Figura 7.32 Foto cassetta sondaggio S8 dove a 85 m è stata eseguita la prova dilatometrica con risultato anomalo
Facendo riferimento soprattutto alle prove dilatometriche, che si ritengono più rappresentative del comportamento complessivo dell'ammasso roccioso alla scala delle opere, si associa all'ammasso roccioso un modulo elastico di 1.000 -1.100 MPa, valore che trova conferma applicando la relazione che lega la resistenza a compressione semplice della roccia intatta σ_{ci} ed il modulo elastico dell'ammasso roccioso contenuta nella già citata pubblicazione (1) di Hoek: $E = 200 \times \sigma_{ci} = 200 \times 5,5 = 1.100 \text{ MPa}$

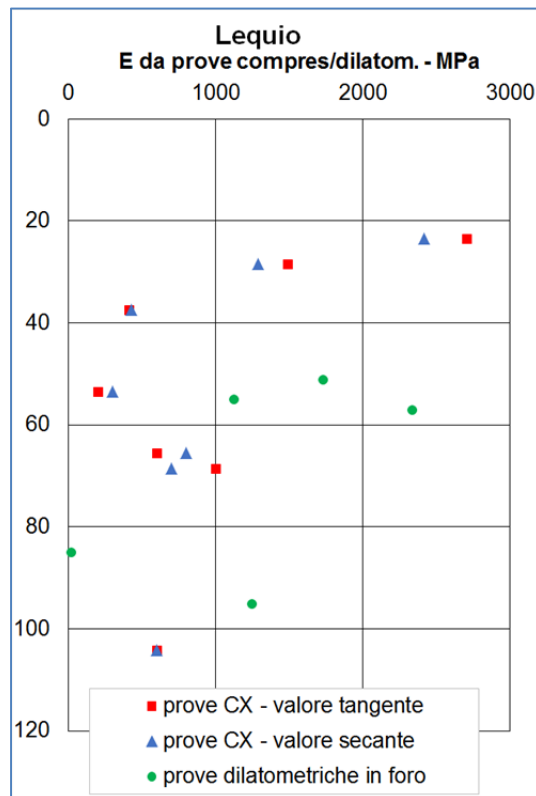


Figura 7.33 Formazione di Lequio: modulo elastico derivante dalle prove di compressione semplice e dalle prove dilatometriche

Come per le marne di S. Agata Fossili ai fini della caratterizzazione geotecnica vista la natura prevalentemente lapidea delle carote provenienti dai sondaggi, i risultati delle prove dilatometriche in foro e la sostanziale stabilità dei fori di sondaggio constatata durante la campagna geognostica 2019, si è trattata la formazione come un ammasso roccioso descrivendola mediante le classificazioni geomeccaniche precedentemente richiamate.

Sulla base della ricostruzione stratigrafica del tracciato la formazione di Lequio viene raggiunta dalle opere in progetto nella parte centrale ed orientale della galleria naturale. In particolare i sondaggi di riferimento per la valutazione delle caratteristiche medie della formazione sono S07, S08 ed S09, che interessano la galleria nella parte centrale. Nel dettaglio i sondaggi S08 ed S09 sono del tutto compatibili tra loro indicando valori di RQD medio-elevati ed una natura arenacea discretamente cementata, Figura 7.34. In corrispondenza di S07 all'altezza della galleria si rilevano invece intercalazioni di arenarie e marne sabbiose caratterizzate da locali abbassamenti dell'RQD dovuti ad una notevole variabilità del grado di cementazione e/o fratturazione, Figura 7.35.

Sulla base di queste evidenze alla Formazione di Lequio sono stati attribuiti i parametri di RMR'89, RMR89, RMR e GSI riepilogati nelle seguenti Tabella 7.3 e Tabella 7.4. La prima descrive la classificazione di upper bound definita sulla base dei sondaggi S08 ed S09, mentre la seconda una condizione di lower bound definita con riferimento ad S07 e ad un aumento dello stato fessurativo/riduzione della cementazione dell'ammasso roccioso.

Nel complesso si perviene ad un **GSI di lower bound 38** (rappresentativo di un range stimabile fra 35-45) e **upper bound di 46-49** (rappresentativo di un range stimabile fra 45-55), un **RMR89 di riferimento compreso tra 32 e 43** con RMR fra 27 – 38 cui compete, secondo Bieniawski, una classe IV scadente che per i valori più elevati di RMR giunge fino al limite inferiore della classe III mediocre. Con riferimento all'abaco di Figura 7.20 la categoria che meglio descrive le condizioni medie dell'ammasso è quella denominata M3-M4.

Arenarie di Lequio (rif. Sondaggio S08)			
Parametro		Valore	Rating
R1	Resistenza roccia intatta (Mpa)	5-6 Mpa	2
R2	RQD (%)	40-70%	7 - 10
R3	Spaziatura discontinuità	200-600 mm	10
R4	Condizioni giunti	Poco continui, accostati, debolm. scabri, poco alterati	17
R5	Condizione idraulica	Stillicidio	4
R6	Orientazione discontinuità	Mediocre	-5
RMR 89 (R1+R2+R3+R4+R5)			40 - 43
RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)			51 - 54
RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)			35 - 38
GSI			46 - 49
Upper bound			

Tabella 7.3 Formazione di Lequio: classificazioni geomeccaniche – upper bound

Arenarie di Lequio (rif. Sondaggio S07)			
Parametro		Valore	Rating
R1	Resistenza roccia intatta (Mpa)	5-6 Mpa	2
R2	RQD (%)	30-40%	4
R3	Spaziatura discontinuità	80-200 mm	8
R4	Condizioni giunti	Poco continui, apertura millimetrica, lisci, alterati	14
R5	Condizione idraulica	Stillicidio	4
R6	Orientazione discontinuità	Mediocre	-5
RMR 89 (R1+R2+R3+R4+R5)			32
RMR'89 (R1+R2+R3+R4+15)			43
RMR (R1+R2+R3+R4+R5+R6)			27
GSI			38
Lower bound			

Tabella 7.4 Formazione di Lequio: classificazioni geomeccaniche – lower bound

Per quanto esposto ai fini della caratterizzazione di Hoek-Brown si riepilogano i valori di ingresso adottati per il calcolo della resistenza media dell'ammasso:

- $\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$ come risulta dalle prove di laboratorio
- $\sigma_{ci} = 5.5 \text{ MPa}$ che rappresenta il valore medio ricavato dalle prove di compressione semplice
- $m_i = 13$ che è il valore suggerito da Hoek per terreni arenacei
- $D = 0.2$ riferito ad un terreno moderatamente disturbato dalle operazioni di scavo.

Con riferimento al lato ovest in cui la galleria interessa la formazione di Lequio, adottando la classificazione di lower bound come derivata dalle evidenze del sondaggio S07 e considerando una profondità media di 50 m e un GSI di 38 tramite Roc Lab si ottengono i seguenti parametri di caratterizzazione alla copertura, Figura 7.36:

h = 50m	GSI = 38
coesione efficace - kPa	110
angolo d'attrito (°)	35
modulo elastico (MPa)	1050



Figura 7.34 Sondaggio S08 tra 110 e 120 m, all'altezza della galleria naturale



Figura 7.35 Sondaggio S7 fra 50 – 60 m all'altezza della galleria naturale

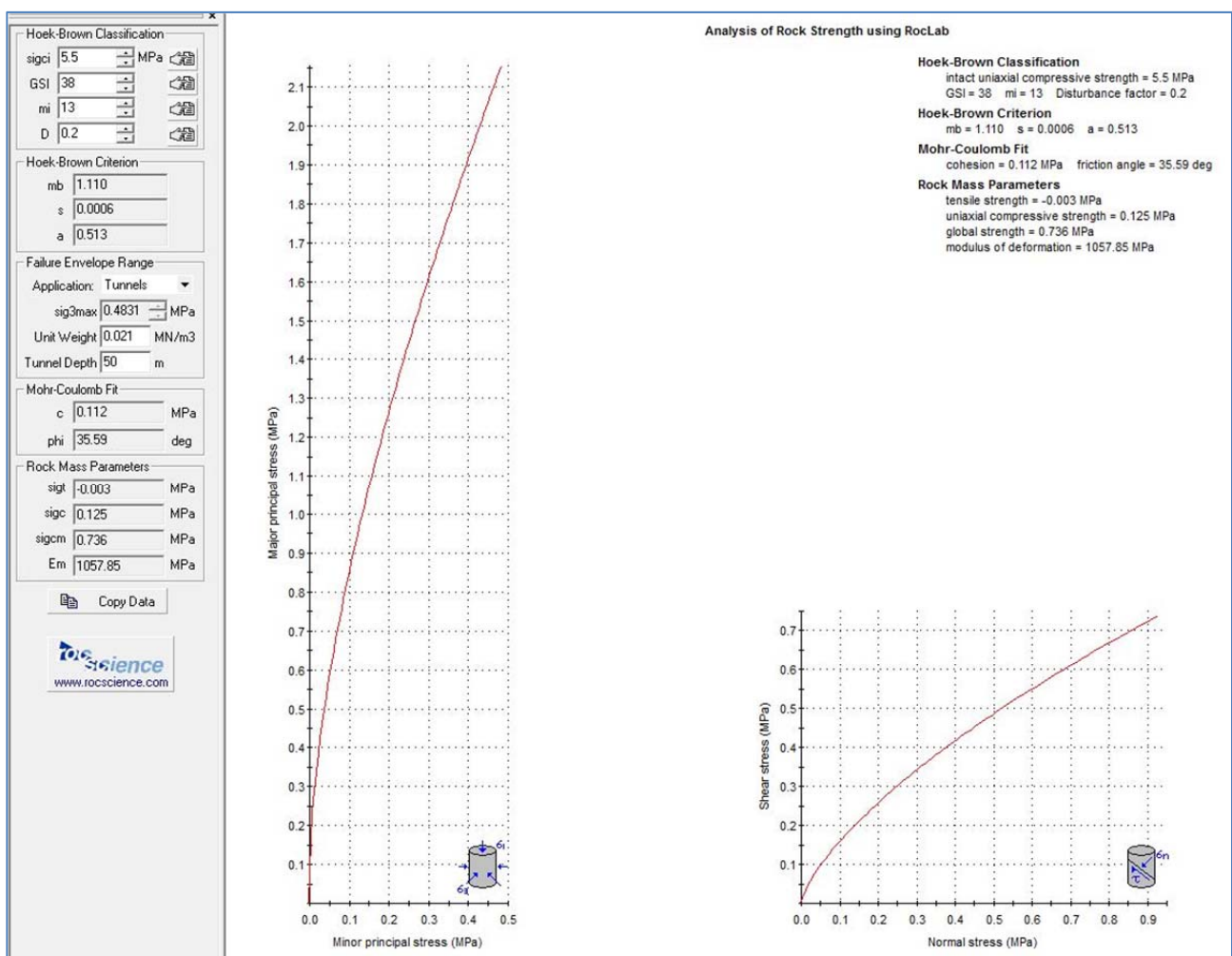


Figura 7.36 Formazione di Lequio: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 50m. Valori di lower bound

Nel tratto est della galleria naturale buoni valori di RQD permettono di adottare tendenzialmente la classificazione di upper bound, in presenza di una copertura media di 90m con un GSI variabile tra i valori medi di 46 e 49 cui tramite Roc Lab si evincono i seguenti parametri di caratterizzazione, Figura 7.37 e Figura 7.38:

h = 90m	GSI = 46	GSI = 49
coesione efficace - kPa	180	200
angolo d'attrito (°)	33	34
modulo elastico (MPa)	1600	1900

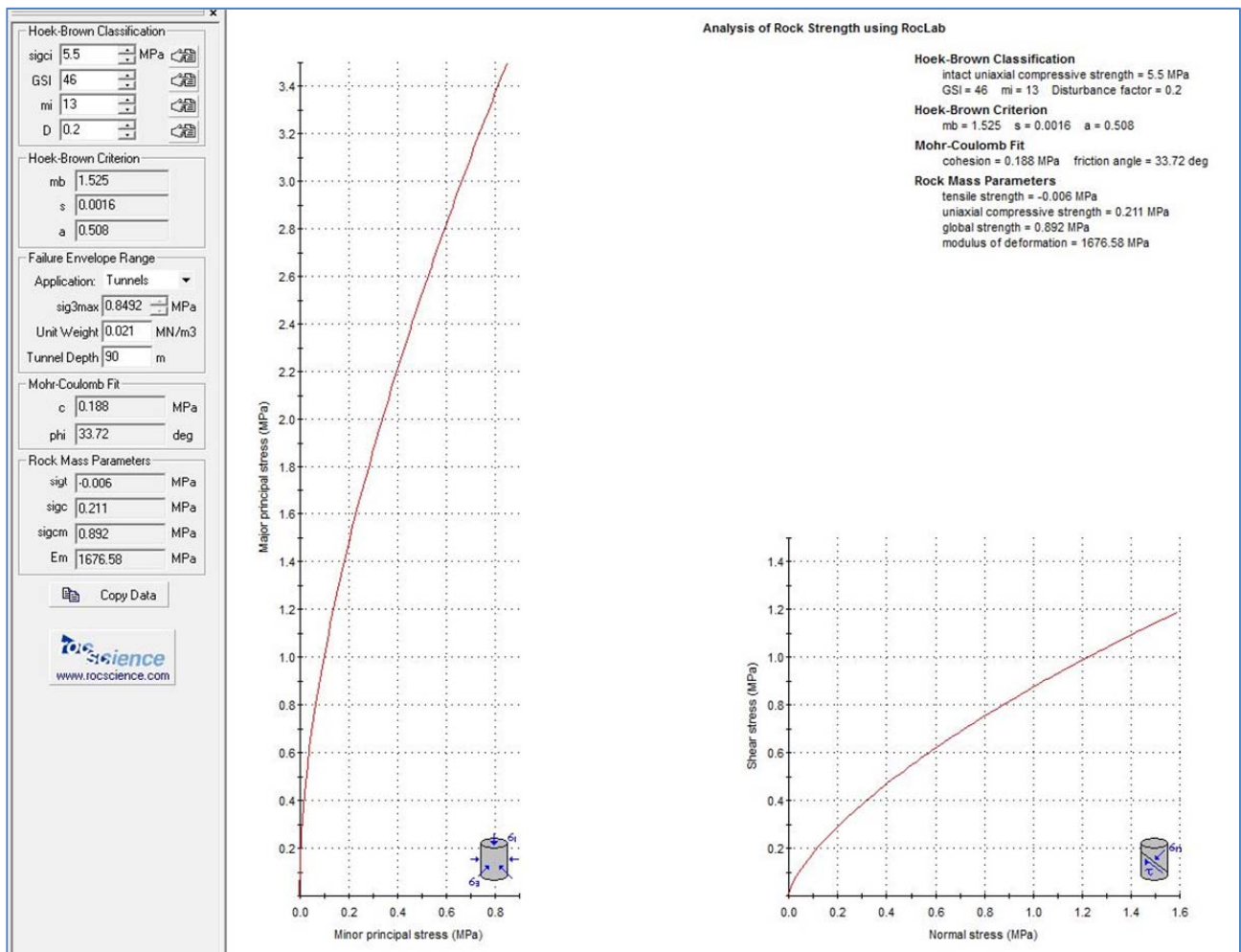


Figura 7.37 Formazione di Lequio: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 90m. Valori di upper bound con GSI 46

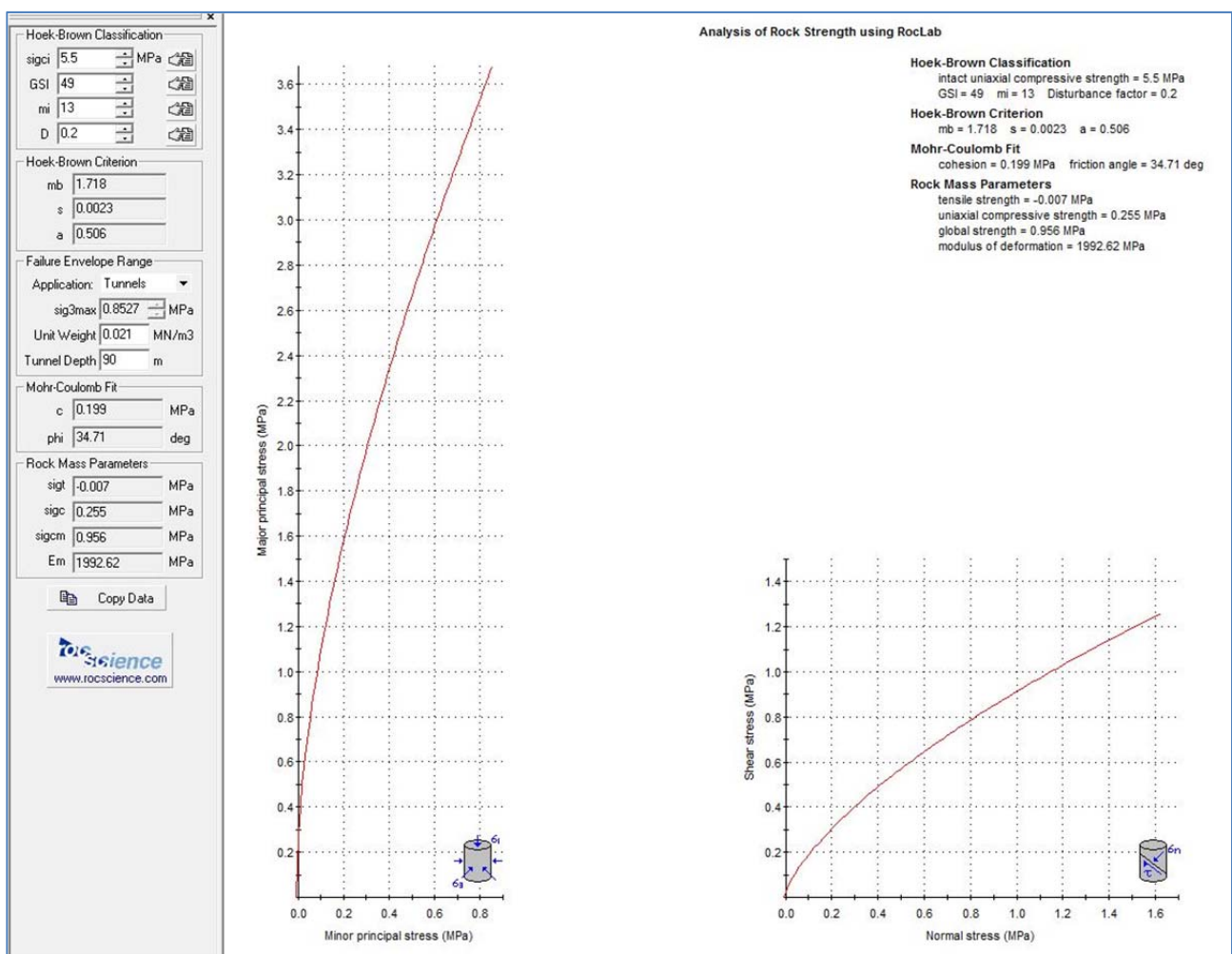


Figura 7.38 Formazione di Lequio: caratterizzazione secondo il criterio di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb per copertura 90m. Valori di upper bound con GSI 49

7.4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica delle unità impegnate dai lavori dedotta dall'insieme delle informazioni bibliografiche, rilievi ed osservazioni di campo, indagini geognostiche eseguite nelle diverse fasi progettuali è riepilogata in Tabella 7.5.

Per le opere poste ai due imbocchi della galleria S. Lorenzo impostate sul Cassano Spinola (unità Cs) e sulle alluvioni terrazzate (unità Ab2), stante la presenza di acclerate condizioni di pericolosità geomorfologica che, seppur evitando le perimetrazioni di frana cartografate, possono essere ricondotte a condizioni prossime all'equilibrio limite, si adotteranno parametri di resistenza residui dedotti dalle back analysis e dalle specifiche prove di laboratorio. Tali parametri saranno estesi, cautelativamente, per l'intero sviluppo delle coltri sino al tetto del sottostante substrato marnoso. Il monitoraggio inclinometrico condotto durante l'arco di tempo intercorrente fra la progettazione definitiva e quella esecutiva permetterà di verificare gli spessori effettivamente coinvolti da eventuali dissesti.

Analogamente parametri dedotti da una back analysis saranno adottati per le opere che a monte del ponte sul Rione Borgato in destra idrografica intercettano i depositi alluvionali terrazzati (Ab), dov'è segnalata la presenza di una frana potenzialmente attiva il cui piede viene lambito dai lavori di interconnessione con la viabilità esistente (SS28). In un approccio cautelativo che pone la falda al tetto del sottostante substrato argilloso i parametri sono $\Phi' = 30^\circ$ con $c' = 0$.

Parametri differenziati sono inoltre proposti per le marne di S. Agata (unità Sa) e per le arenarie di Lequio (unità L) in funzione del diverso grado di fratturazione locale, degli esiti della tomografia elettrica, di un'attesa eterogeneità stratigrafica strutturale, della profondità di scavo e della tipologia di opera. In quest'ambito i moduli elastici proposti sono in linea con quelli dedotti dalle prove in sito e dalle formulazioni proposte da Hoek per terreni molassici; fanno eccezioni le opere all'aperto dove, in relazione alla tipologia di opere ed alle condizioni geomorfologiche locali, alle marne di S. Agata si attribuisce un range più modesto e compreso fra 100-200 MPa.

N°	Unità	γ (kN/m ³)	GSI	RMR	σ^c (Mpa)	Classe Bieniawsky	c' (kPa)	ϕ' (°)	ϕ'_{res} (°)	Cu (kPa)	E (Mpa)	K (m/s)	ν (-)	Vs (m/s)	Vp (m/s)
Aa	Alluvioni degli alvei attuali	19					0	38-42			20-25	1.00E-03	0.3		
Ab	Alluvioni terrazzate Rione Borgato	19					0-5	30			15	1.00E-05	0.3		
Ab2	Alluvioni terrazzate imbocco est galleria S. Lorenzo	19					0		19-20		15-20	1.00E-05	0.35		
Ac	Alluvioni antiche	19					5	36-38			30	6.00E-05	0.3		
Ga	Argille grigio azzurre	19,5					25-30	30-32		150-200	50-70	1.00E-08	0.3		
Cs	Cassano Spinola	19					15-20	30-32			30	5.00E-06	0.3		
Cs2	Cassano Spinola imbocco ovest galleria	19					0		19-20		15	5.00E-06	0.35		
Sa1	F.ne Marne di S Agata opere all'aperto	20,5	30-40		4		25-40	30-32			100-200	1.00E-07	0.25		
Sa2	F.ne delle Marne di S. Agata	20,5	30-40	23-26	4	IV Scadente	25-50	32-37			500-800	1.00E-07	0.25		
Sa3	F.ne delle Marne di S. Agata alta copertura	20,5	30-38	23-26	4	IV Scadente	100-105	21-23			700	1.00E-07	0.25		
L1	F.ne di Lequio	21	45-55	35-38	5,5	IV Scadente	130-150	33-34			1000-1100	5.00E-07	0.20		
L2	F.ne di Lequio fratturata	21	35-45	27	5,5	IV Scadente	100-110	34-35			800-900	8.00E-07	0.20-0.25		

Tabella 7.5 Caratterizzazione geotecnica - Riepilogo

Per una più precisa schematizzazione dei terreni e una distribuzione dei parametri lungo lo sviluppo della galleria naturale si rimanda alla relazione geomeccanica ed al profilo geomeccanico.

8 SCAVI E RILEVATI

8.1 PREPARAZIONE DEI PIANI DI POSA

Per la preparazione del piano di posa dei rilevati si prevede di eseguire uno scotico che, ai sensi di capitolato, avrà uno spessore di 20 cm integrato da una successiva bonifica di spessore 80 cm. Nel caso specifico visti gli esiti delle indagini dirette, clima, tipologia e uso del suolo si ritiene che uno spessore complessivo di 100 cm sia generalmente idoneo alla rimozione dell'intero strato di terreno vegetale (ed eventuali orizzonti di maggiore ossidazione ad esso sottostanti) consentendo l'intestazione del rilevato, o del piano di posa in sede naturale o trincea, all'interno dei terreni naturali in posto. Resta inteso che qualora localmente, al momento dell'esecuzione dei lavori, risultasse che lo spessore di terreno avente caratteristiche non conformi è superiore, o inferiore, ai 100 cm qui ipotizzati, lo spessore di bonifica andrà conseguentemente adeguato.

I rilevati saranno realizzati per singoli strati di spessore massimo 50 cm impiegando materiali provenienti dagli scavi ed appartenenti ai gruppi A1 – A2.4 – A2.5 ed A3 della UNI 10006. Qualora proveniente da scavi è ammesso anche l'impiego di terreni A2.6 ed A2.7 a condizione che siano confinati oltre 2 m dalla fondazione stradale, sul piano di posa sia posto uno strato anticapillare, e gli strati non siano stesi per spessori superiori a 30 cm. Per l'ultimo strato di 30 cm al di sotto della pavimentazione stradale è prescritto l'impiego di materiali A1 o A3 con coefficiente di uniformità uguale o superiore a 7. Solo in mancanza o in difetto di questi si potrà fare ricorso a materiali provenienti da cava.

Materiali più scadenti classificati come A4-A5-A6 ed A7 non potranno essere impiegati nell'ambito dei rilevati stradali.

A compattazione avvenuta i terreni costituenti i rilevati stradali dovranno presentare una massa volumica del secco pari o superiore al 90% della massa volumica del secco massima individuata dalla prova di compattazione Proctor modificata (CNR 69-1978 e CNR 22 – 1972) e/o un modulo di deformabilità calcolato al primo ciclo di carico su piastra da 30 cm non inferiore a 20 MPa fra 0,05-0,15 n/mm² (CNR 146-1992). L'ultimo strato da 30 cm al di sotto della pavimentazione deve presentare grado di costipamento non inferiore al 95% e valori di modulo non inferiore a 50 MPa nell'intervallo compreso fra 0,15-0,25 N/mm². Si prevede inoltre un valore di modulo: 20 MPa nell'intervallo compreso fra 0,05-0,15 n/mm² sul piano di posa del rilevato posto a 1 m da quello della fondazione della pavimentazione stradale, e 15 MPa nell'intervallo compreso fra 0,05 – 0,15 N/mm² sul piano di posa del rilevato posto a 2,0 m o più dalla fondazione della pavimentazione stradale. Per rilevati di altezza >2m possono essere accettati valori inferiori a 15 MPa sempre che sia garantita la stabilità e la compatibilità dei cedimenti.

Le caratteristiche dei terreni sono tali da non determinare l'insorgere di particolari cedimenti i quali, in ogni caso, si svilupperanno in massima parte nell'ambito dei tempi di costruzione. In ogni caso per assicurare un regolare sviluppo degli stessi cedimenti si consiglia di eseguire i rilevati di maggiore altezza nelle prime fasi dei lavori, in

maniera tale da poter assicurare da un lato il completo decorso dei cedimenti stessi e dall'altro, ove ritenuto necessario, un eventuale monitoraggio topografico.

Stante la frequente presenza di una falda a modesta profondità dal piano campagna il progetto ha inoltre previsto, sul piano di posa, in rilevato e trincea, la posa di uno strato con funzione anticapillare. Allo scopo di mantenere la falda a sufficiente profondità, e preso atto che localmente le indagini hanno evidenziato condizioni di falda che stagionalmente si portano a piano campagna, si è inoltre prevista la posa di una trincea drenanti prefabbricate ai margini della carreggiata stradale (Figura 8.1).

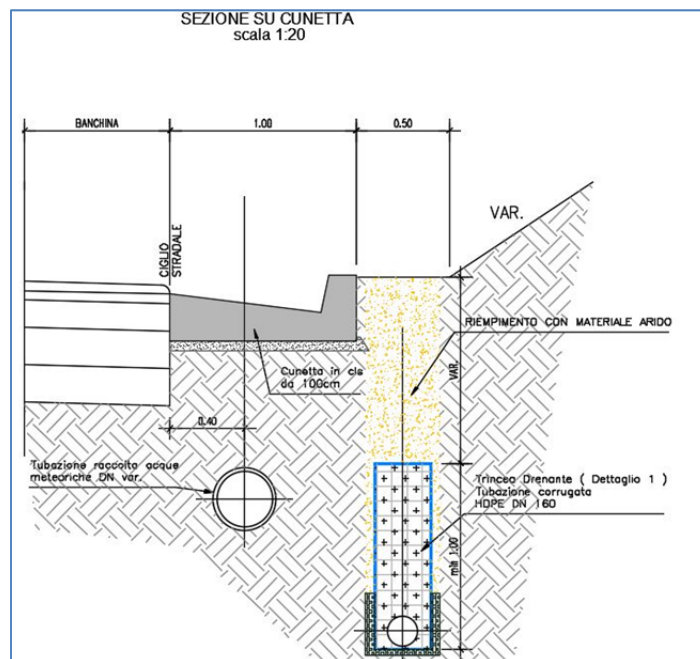


Figura 8.1 Trincea drenante prefabbricata ai margini della carreggiata stradale (immagine non in scala)

8.2 VERIFICHE DI STABILITA'

Secondo le indicazioni contenute nelle NTC 2018 (par. 2.3) le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU) devono soddisfare la seguente condizione:

$$Ed \leq Rd$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni, ed R_d il valore di progetto della resistenza del terreno.

Rimandando alle NTC 2018 per un maggiore grado di dettaglio le verifiche allo SLU ai sensi del paragrafo 6.8 vengono condotte secondo l'approccio 1, Combinazione 2: (A2+M2+R2) tenuto conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC, riportate in Tabella 8.1, Tabella 8.2 e Tabella 8.3 del presente testo valide rispettivamente per le azioni permanenti e variabili (A), per i parametri del terreno (M) e per le resistenze (R).

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 8.1 Verifiche a SLU. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 8.2 Verifiche a SLU. Coefficienti parziali per i parametri del terreno

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tabella 8.3 Verifiche a SLU. Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere in materiali sciolti e fronti di scavo

Nel seguente prospetto di Tabella 8.4 sono sintetizzati i parametri geotecnici caratteristici (pedice k) e di progetto (pedice d - relativi all'applicazione del coefficiente M2) del sottosuolo e dei materiali costituenti i rilevati e relativo piano di posa.

MATERIALE	γ (KN/m ³)	c'k (KpA)	Φ' k (°)	c'd (KpA)	Φ' d (°)
Rilevato stradale	19	3	35	2,4	29,3
Alluvioni antiche (Ac)	19	5	36	4	30,2
Cassano Spinola (CS)	19	15	30	4	24,8

Tabella 8.4. Analisi di stabilità. Parametri geotecnici caratteristici e di progetto

Le successive analisi di stabilità rientrano in verifiche allo SLU; le azioni variabili sono rappresentate dal solo sovraccarico sul rilevato stradale per il quale si è assunta una pressione pari a:

$$20 \times 13 = 26 \text{ kPa (caso statico)}$$

La verifica del sistema geotecnico sotto l'effetto dell'azione sismica viene eseguita con riferimento ai contenuti del capitolo 7 delle NTC 2018, ed in particolare al paragrafo 7.11.4, che per fronti di scavo e rilevati precisa l'impiego del medesimo approccio di cui al paragrafo 6.8.2 per opere in materiali sciolti e fronti di scavo, ponendo pari all'unità i parametri per le azioni e sui parametri geotecnici, ed impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale $\gamma_r = 1,2$.

I coefficienti sismici K_h e K_v si ricavano a partire dalla Relazione Sismica che, sulla base delle coordinate sito specifiche, individua per la condizione di SLV un valore massimo di:

$$a_g = 0,088$$

L'accelerazione massima attesa in superficie deriva dalla 7.11.5 delle NTC 2018:

$$a_{\max} = S \times a_g = S_s \times S_T \times a_g$$

Dove:

S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica S_s e quella topografica S_T

a_g = accelerazione orizzontale massima sul sito di riferimento rigido.

Per una categoria di suolo di fondazione B, compatibile con l'intero sedime progettuale, il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s vale 1,20 mentre quello topografico in condizioni sostanzialmente pianeggianti (categoria topografica T1) valide per il sedime di progetto vale $S_T = 1,00$. In presenza di una zona di rilievo si può invece assumere T2 con $S_T = 1,2$.

In un approccio cautelativo che consideri categoria di suolo B e categoria topografica T2 si ha:

$$a_{\max} = 0,088 \times 1,2 \times 1,2 = 0,127$$

I coefficienti sismici orizzontali e verticali posti a base delle verifiche di stabilità vengono individuati al paragrafo 7.11.3.5.1 delle NTC 2018 dove:

$$kh = \beta_s \frac{a_{max}}{g}$$

$$kv = \pm 0,5kh$$

Con β_s un coefficiente di riduzione dell'accelerazione orizzontale massima attesa al sito che, ai sensi del paragrafo 7.11.4, per fronti di scavo e rilevati vale 0,38.

Quindi per rilevati e trincee:

$$Kh = 0,048$$

$$Kv = 0,024$$

Le verifiche sono state eseguite con il programma GSSTABL72 della Gregory Geotechnical Software (Oklahoma – USA) in corrispondenza delle sezioni poste in corrispondenza dei rilevati stradali e delle trincee di maggiore altezza in condizioni statiche e sismiche.

In tutti i casi è stato imposto un sovraccarico in sommità al rilevato stradale o al margine della la trincea.

La Tabella 8.5 e le figure seguenti riepilogano i risultati ottenuti con una breve nota di commento.

Le modeste altezze di scavi e rilevati e le buone caratteristiche dei terreni restituiscono in tutte le verifiche valori superiori al minimo di normativa ($\gamma_r = 1,1$ in condizioni statiche e $\gamma_r = 1,2$ in condizioni sismiche) con buoni margini.

Nome file	Sezione	Sovraccarico	Sisma	Condizione	Fs	Figura
Mond15a	Trincea. Sezione 15	SI	NO	Statica globale	1,579	8.2
Mond15c	Trincea. Sezione 15	SI	NO	Statica locale	1,558	8.3
Mond15b	Trincea. Sezione 15	SI	SI	Sismica	1,851	8.3
Mond25a	Rilevato. Sezione 25	SI	NO	Statica locale	1,207	8.4
Mond25b	Rilevato. Sezione 25	SI	NO	Statica globale	1,391	8.5
Mond25c	Rilevato. Sezione 25	SI	SI	Sismica	1,391	8.6

Tabella 8.5 Riepilogo verifiche di stabilità

Le verifiche lungo la sezione in trincea, sagomata su un'unica scarpata, riportano fattori di sicurezza analoghi per la condizione locale o globale (superfici di scivolamento passanti al piede del pendio) con fattori di sicurezza compresi fra $F_s = 1,579$ e $F_s = 1,558$ superiori all'1,1 richiesto. In presenza di sisma adottando parametri non fattorializzati, complice la modesta sismicità dell'area, si ha $F_s = 1,851$ a fronte di un minimo da normativa di 1,2.

Nella sezione in rilevato sagomata su due scarpate con banca intermedia si hanno fattori di sicurezza compresi fra $F_s = 1,207$ per cerchi molto superficiali e $F_s = 1,391$ per una condizione globale. In presenza di sisma si ha $F_s = 1,391$.

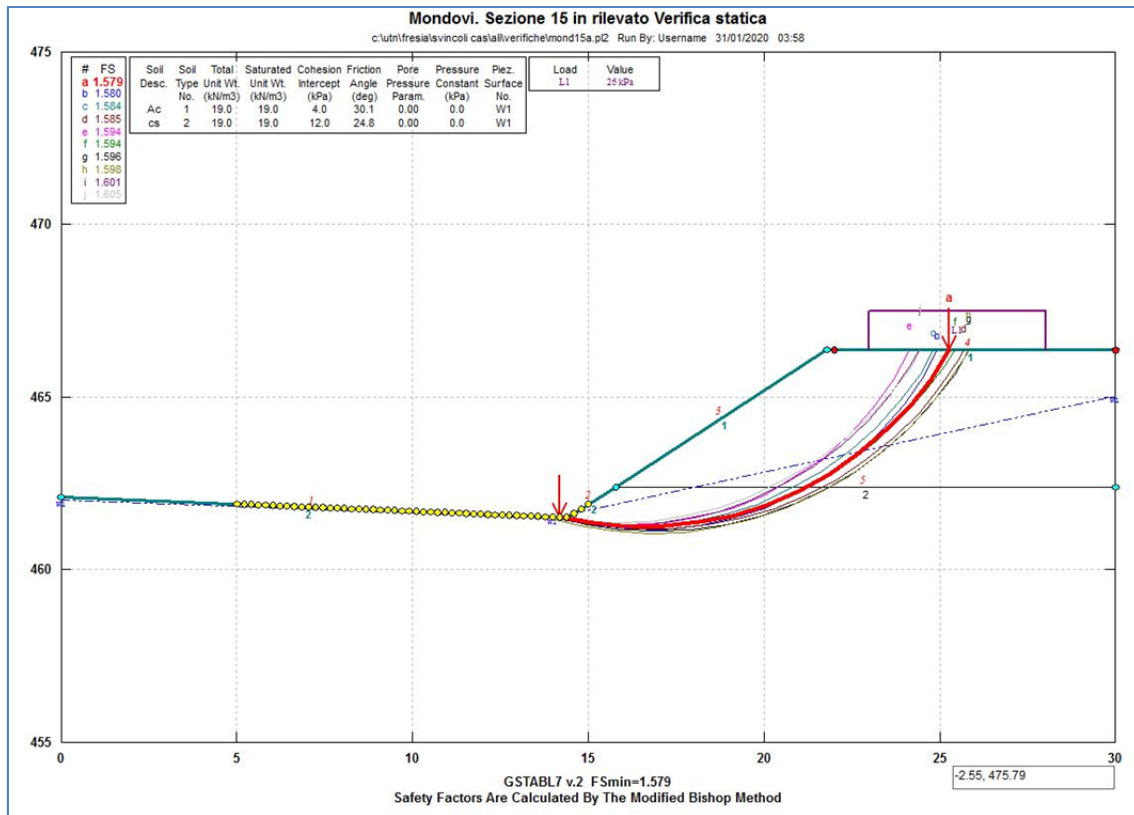


Figura 8.2 Tratto in trincea. Sezione 15. Verifica statica globale con $F_s = 1,579$

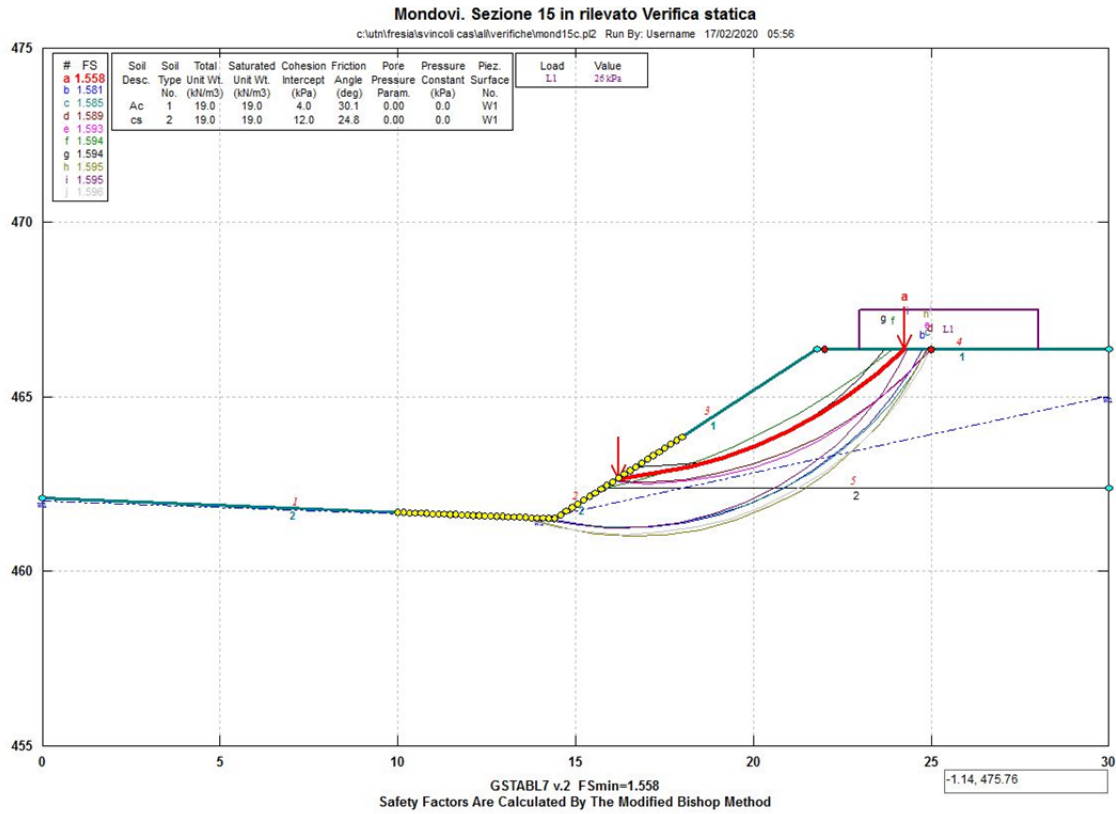


Figura 8.3 Tratto in trincea. Sezione 15. Verifica statica globale con $F_s = 1,558$

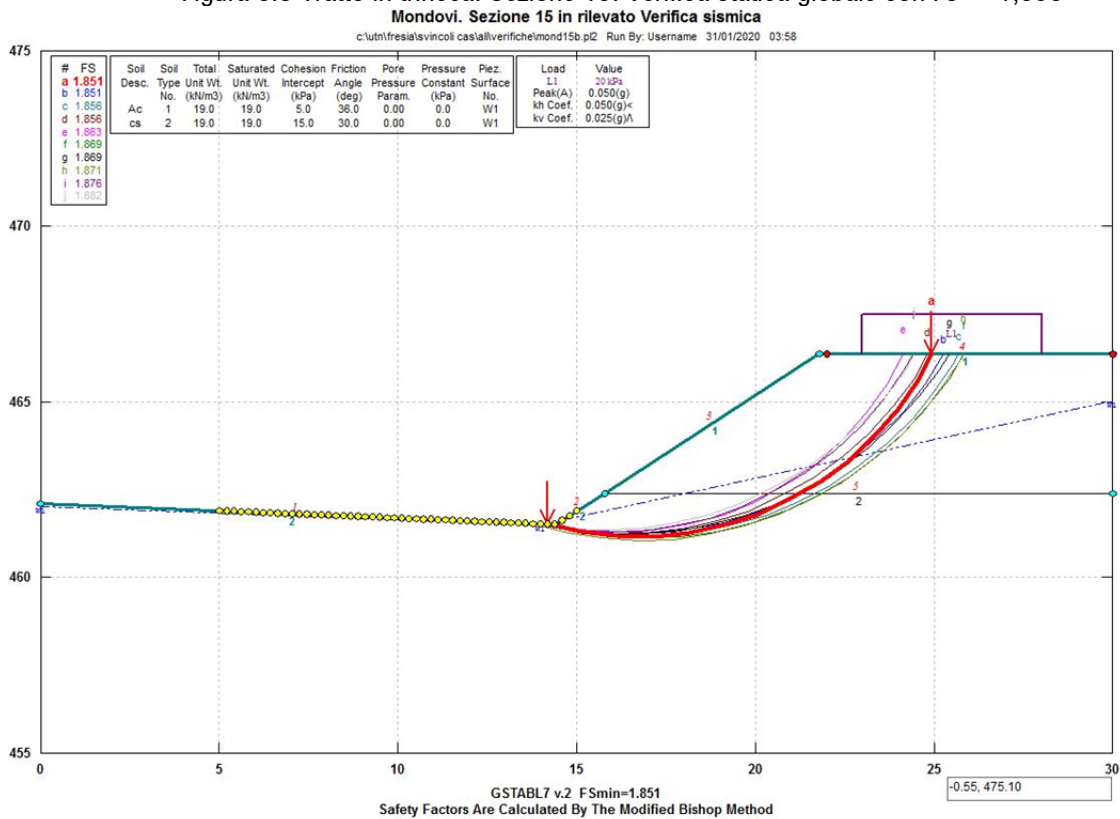


Figura 8.4 Tratto in trincea. Sezione 15. Verifica sismica con $F_s = 1,851$

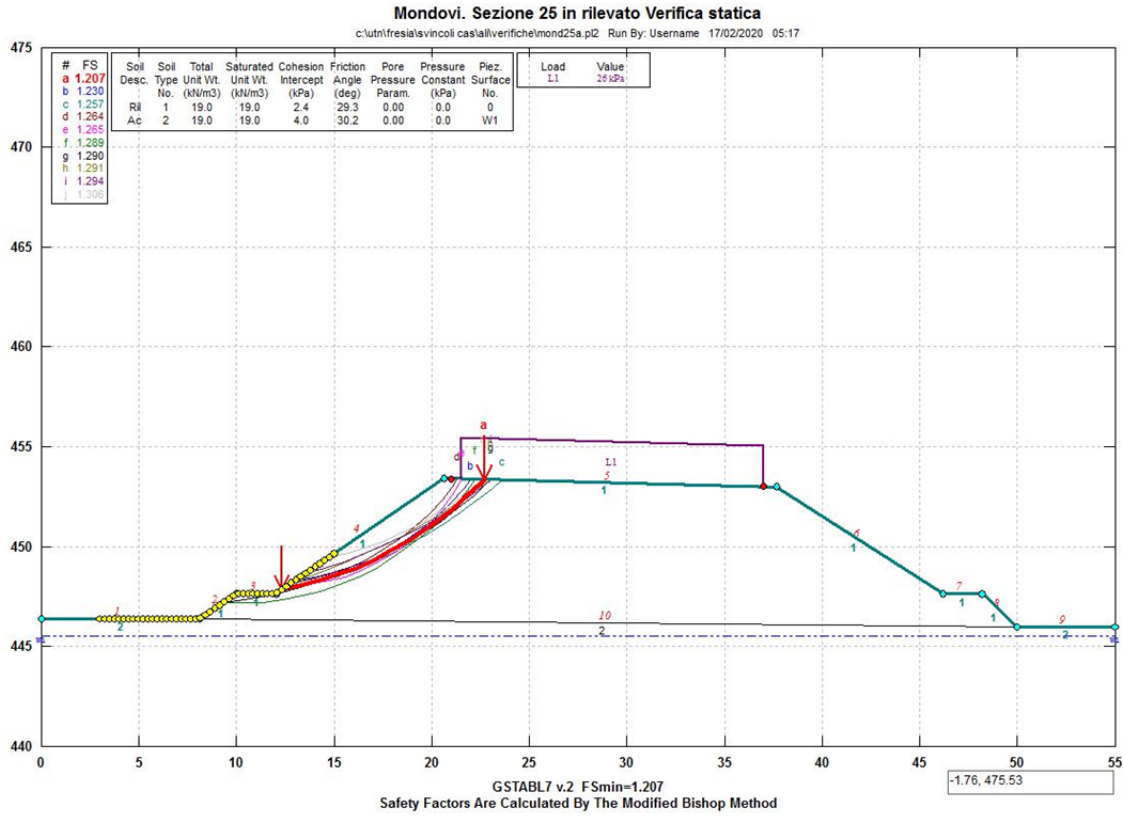


Figura 8.5 Tratto in rilevato. Sezione 25. Verifica statica locale $F_s = 1,207$

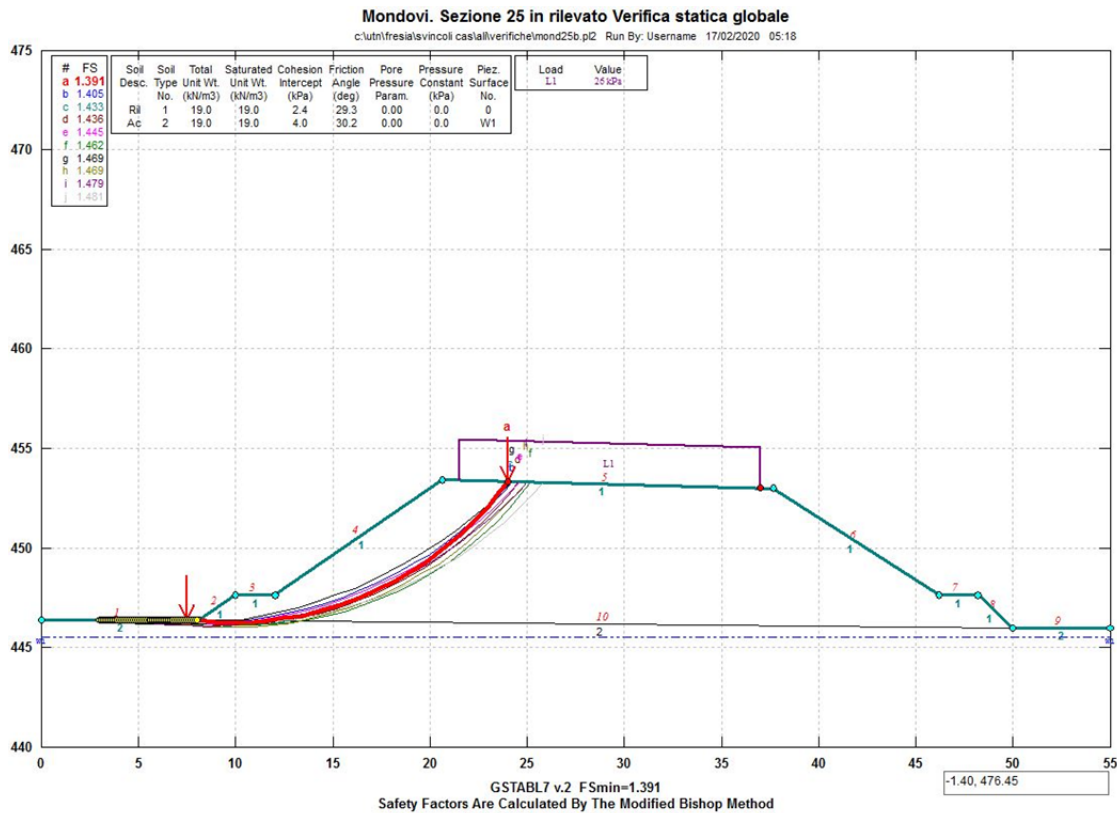


Figura 8.6 Tratto in rilevato. Sezione 25. Verifica statica globale $F_s = 1,391$

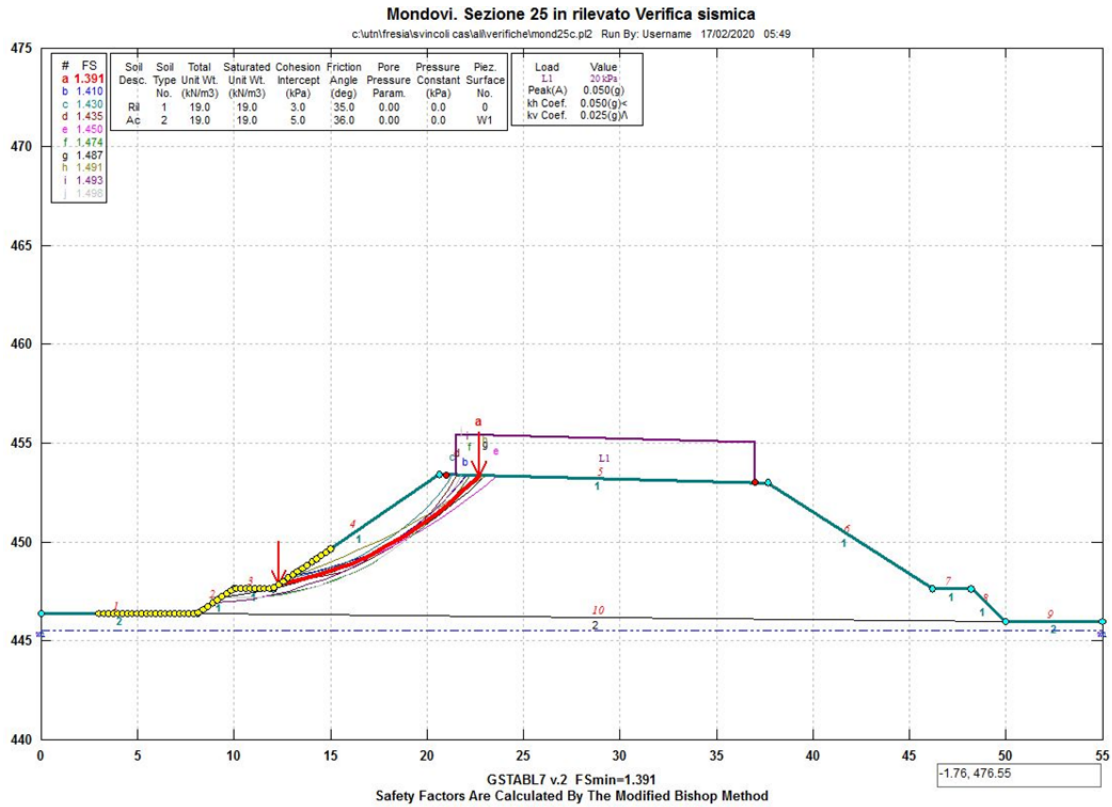


Figura 8.7 Tratto in rilevato. Sezione 25. Verifica sismica locale $F_s = 1,391$

9 METODOLOGIA DI SCAVO E BILANCIO TERRE

Il tracciato principale prevede tratti in rilevato, per i quali gli scavi riguarderanno la sola realizzazione dello scotico (20 cm) e della bonifica (80 cm) e tratti in trincea i cui gli scavi saranno spinti a varia profondità. In particolare nella parte iniziale del tracciato principale è previsto un tratto di circa 235 m con scavi in trincea della profondità massima di circa 5 m. Un ulteriore tratto in trincea, di minore altezza, è posizionato a fine intervento.

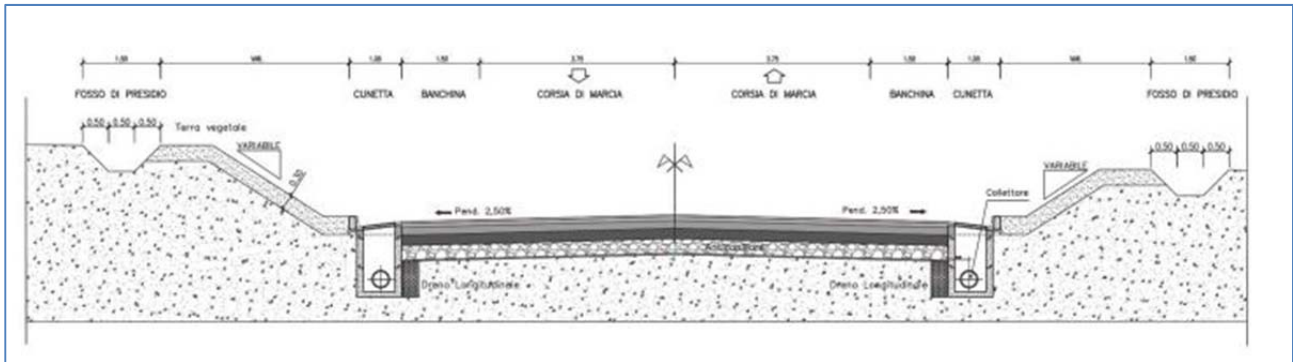


Figura 9.1 Sezione tipo scavi in trincea

Sempre nella prima parte del tracciato principale è prevista una galleria artificiale della lunghezza di 150 m costituita da un manufatto gettato in opera a sezione rettangolare, da realizzarsi previo scavi provvionali con scarpate 3/2 e successivo rinterro con materiale proveniente dagli scavi stessi.

Per i viadotti sul fiume Ellero e torrente Ermena gli scavi saranno quelli per la realizzazione dei plinti di fondazione, successivamente ritombati, e dei pali di fondazione.

Gli scavi più importanti e diffusi sono quelli relativi alla galleria naturale ed alle zone d'imbocco, quest'ultimi contenuti da paratie di pali di grande diametro e caratterizzati da brevi tratti in artificiale (60 m all'imbocco Ovest e 55 all'imbocco Est), successivamente ritombati per ripristinare la continuità naturale del pendio.

Infine in zona Rione Borgato sono previsti scavi contenuti da una paratia di pali in corrispondenza della rotatoria di innesto del ponte con la viabilità esistente (SS28).

Gli scavi in corrispondenza delle trincee e della galleria artificiale interessano materiali sciolti e come tali potranno essere effettuati con l'ausilio di un escavatore. In corrispondenza dell'alveo dell'Ellero e dell'Ermena, e più limitatamente nell'unità di Cassano Spinola, possono essere presenti blocchi quarzoarenitici di dimensioni variabili fino ad oltre il metro particolarmente tenaci (resistenza a compressione > 150-200 MPa).

Gli scavi in galleria interessano in zona d'imbocco depositi alluvionali terrazzati e Cassano Spinola, e in sotterraneo le marne di S. Agata e le arenarie di Lequio. Potranno essere eseguiti subordinatamente mediante escavatore nei materiali sciolti o ripper in quelli teneri, e più estesamente con martello demolitore.

I pali di fondazione e delle paratie e dei viadotti saranno di tipo trivellato. Al fine di evitare/minimizzare l'interferenza con la falda per la relativa esecuzione saranno impiegati, ove necessario, rivestimenti metallici provvisori da estrarre progressivamente in fase di getto. Stante la possibile presenza di blocchi lapidei molto tenaci l'attrezzatura impiegata dovrà essere dotata di utensili (tipo roller bits) in grado di superare trovanti o orizzonti lapidei ad elevata resistenza (ad esempio Multi Hammer Drill – MHD) a discapito, però, di una riduzione della produzione oraria.

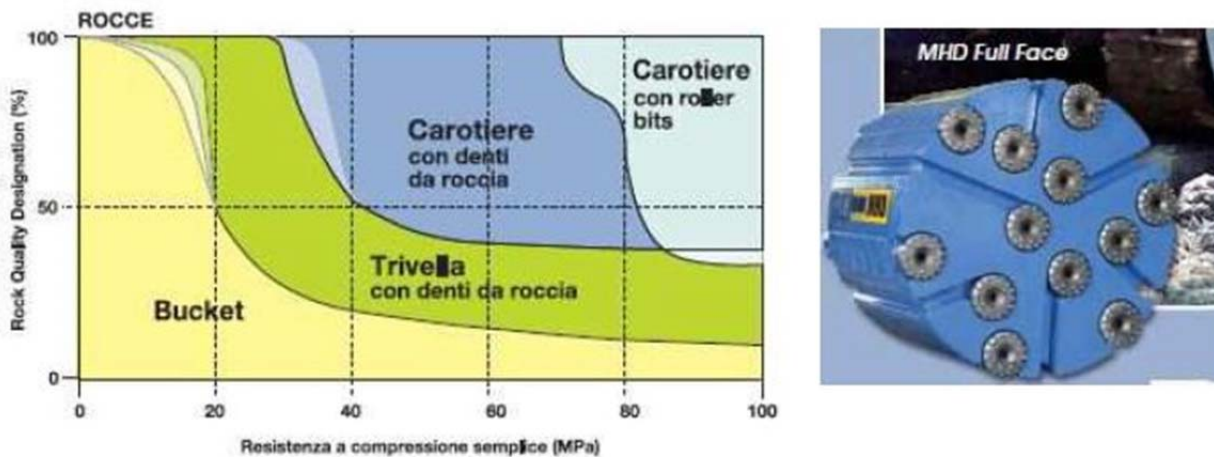


Figura 9.2 A sinistra tipologia di attrezzatura per lo scavo di pali trivellati in funzione della resistenza del terreno. A destra MHD per l'attraversamento di materiali lapidei aventi resistenza fino a 300 MPa (immagine tratta dal catalogo Bauer Maschinen GmbH)

Per quanto attiene le possibilità di riutilizzo, dal **punto di vista puramente tecnico** i terreni di scavo provenienti dai depositi alluvionali recenti e attuali in alveo (unità Aa), e quelli delle alluvioni antiche in sinistra Ellero (unità Ac) hanno in genere buone caratteristiche e come tali sono reimpiegabili a rilevato. L'unità di Cassano Spinola, scavata in zona d'imbocco ovest, è molto eterogenea e spesso ricca di componente fine prestandosi al riutilizzo solo se adeguatamente separata, vagliata e/o lavorata; in un approccio cautelativo e considerato che nel complesso il bilancio terre configura un esubero tale volume è stato in questa fase considerato non reimpiegabile. Stesso dicasi per le alluvioni terrazzate dell'Ermena dove le analisi granulometriche riscontrano spesso una componente limosa significativa.

Il maggior volume di scavo è quello proveniente dalla galleria naturale ed ha natura marnosa (Formazione di S. Agata unità Sa) o arenacea (Formazione di Lequio unità L). Le marne sono classificabili prevalentemente A6 ed A7 risultando di caratteristiche scadenti e come tali non riutilizzabili. Le arenarie dalle analisi granulometriche disponibili, influenzate probabilmente anche dalle caratteristiche dei campioni selezionati (ovvero campioni di materiale terroso e non lapideo) mostrano una non trascurabile frazione fine che, a fronte di una classificazione prevalente A4 ed A7 e in subordine A2 ed A1, ne sconsiglierebbero il reimpiego. Dall'esame delle cassette catalogatrici dei sondaggi (vedasi documentazione fotografica e a titolo di esempio la Foto 9.1) si ritiene che i terreni arenacei a consistenza lapidea o pseudolapidea, specie se lavorati e selezionati, si prestino per circa il 50% al reimpiego per rilevati e per il riempimento dell'arco rovescio in galleria

Dato che i ritombamenti sulle opere insistono spesso sulla viabilità di progetto si sconsiglia per essi l'impiego di materiale limoso argilloso di difficile stesa e compattazione, preferendo l'impiego di terreni provenienti dagli scavi della frazione arenacea in galleria adeguatamente stesi e compattati alla stregua di un rilevato stradale.

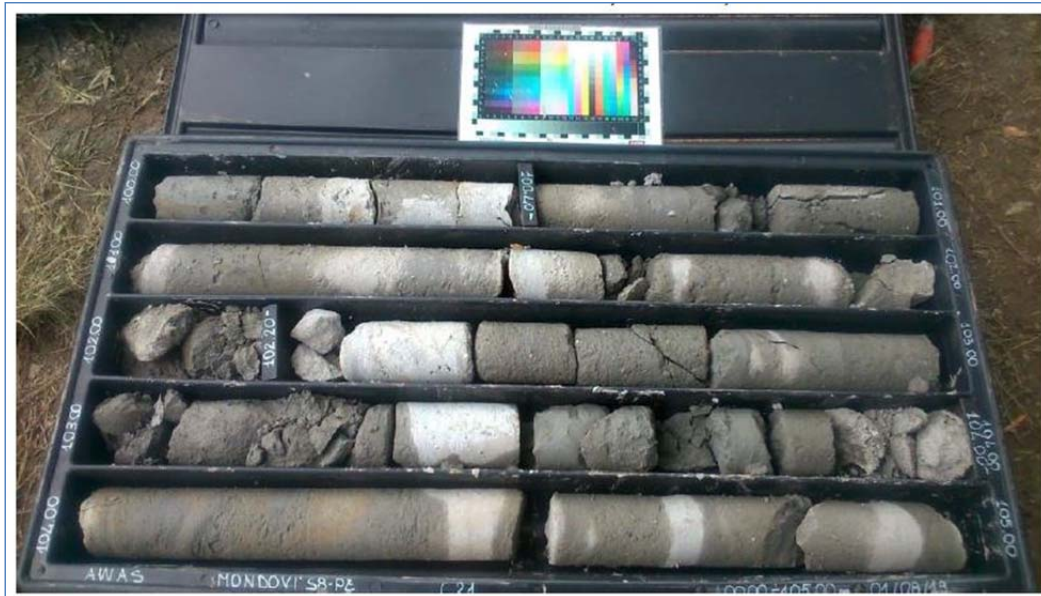


Foto 9.1 Arenarie (della F.ne di Lequio) nel sondaggio S8 fra 100-105 m da p.c.

Per quanto attiene le possibilità di riutilizzo, dal **punto di vista ambientale** nel corso della campagna geognostica sono stati eseguiti n° 16 campionamenti ambientali di terreno e n° 2 di acque di falda. Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio Sialab, accreditato Accredia.

I dati ottenuti sono stati confrontati con le Concentrazioni di Soglia di Contaminazione (CSC) di cui alla tabella 1 colonna A (siti ad uso verde pubblico privato e residenziale) e colonna B (siti ad uso commerciale e residenziale) dell'allegato 5 al titolo V della parte quarta del D.Lgs 152/2006 come previsto dal DPR 120/2017. Dai risultati emersi si evince che tutti i campioni prelevati rispettano i limiti di riferimento della colonna A "siti ad uso verde pubblico e privato e residenziale" della tab 1 All 5 titolo V della parte quarta D.Lgs 152/2006.

Dalle determinazioni analitiche effettuate ai fini della classificazione dei materiali come rifiuti i terreni rientrano nel codice CER 17 05 04 "terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03*".

Le analisi hanno escluso il rischio di esposizione all'attacco chimico da parte del terreno.

Per quanto attiene l'aggressività delle acque nei confronti del calcestruzzo da un primo campione proveniente dal sondaggio S11-PZ, zona Rione Borgato, si è riscontrato un contenuto di solfati di 558 mg/L, contro un limite di 600 mg/L per la classe di esposizione XA1. Il contenuto di anidride carbonica è 8 mg/l e ione ammonio non rilevabile.

Dal punto di vista geologico un elevato tenore di solfati è compatibile con la presenza, nei dintorni, di terreni in facies evaporitica contenenti minerali di gesso. Da un secondo campione d'acqua, prelevato in corrispondenza del piezometro S9Pz, posto lungo la galleria S Lorenzo, ai fini dell'aggressività nei confronti del calcestruzzo risulta un tenore di solfati assai più basso e pari a 35 mg/l, anidride carbonica 11 mg/l e ione ammonio non rilevabile.

Rimandando alla Relazione piano di utilizzo terre e rocce da scavo (elaborato P00IA00AMBRE01A) per maggiori dettagli il **bilancio terre** può essere così sinteticamente riepilogabile:

- Volume di scavo circa 520.000 mc;
- Fabbisogno circa 240.000 mc
- Riutilizzo in sito circa 210.000 mc;
- Esubero circa 310.000 mc.

10 MONITORAGGIO STRUTTURALE

Come anticipato al paragrafo 6.6 la campagna geognostica di progetto definitivo ha previsto l'installazione di n° 8 piezometri e n° 4 inclinometri, ed il monitoraggio della medesima strumentazione per un arco di tempo non inferiore ad un anno con cadenza delle misure trimestrale, i cui risultati saranno acquisiti nel progetto esecutivo. Un monitoraggio su tutti i piezometri e sugli inclinometri posti lungo l'asse di progetto (S4-I ed S6-I) proseguirà con cadenza temporale (trimestrale) durante la realizzazione dei lavori al fine di verificare l'effettiva interazione opere/terreni.

Contestualmente sono state effettuate una serie di valutazioni in merito alle possibili interferenze indotte dallo scavo della galleria naturale S. Lorenzo nei confronti:

- della viabilità posta all'imbocco ovest (via Vecchia di Frabosa) dove la galleria ha coperture nell'ordine di 7 m circa;
- di n° 3 fabbricati (A-B-C) all'imbocco ovest, dove la galleria ha coperture nell'ordine di 18 m;
- Di n° 3 fabbricati (D-E-F) all'imbocco est, dove la galleria ha coperture nell'ordine di 33 m.

Le verifiche hanno evidenziato (riferimento: Relazione di calcolo della galleria, capitolo 10.1) come in corrispondenza di via Vecchia di Frabosa possano essere attesi cedimenti nell'ordine di 9 cm, che sono ritenuti compatibili con una sostanziale integrità della sede stradale (peraltro già ampiamente ammalorata per la presenza di fenomeni di dissesto più o meno superficiali) e gestibili tramite una riasfaltatura a fine lavori.

I fabbricati B e C ricadono ai limiti di un possibile e modesto bacino di subsidenza per una categoria di danno attesa pari a 0 (danno trascurabile). I fabbricati A-D-E-F ricadono all'esterno della gaussiana di subsidenza e pertanto non si prevede subiranno alcuna interferenza con lo scavo. In ogni caso al fine di monitorare i fabbricati, evitare possibili strumentalizzazioni e tutelare l'appaltatore ed il committente, si è comunque previsto un monitoraggio degli edifici e della strada da effettuarsi durante lo scavo della galleria con fronte a +/- 50 m dalle strutture mediante:

- n° 3 allineamenti di 11 caposaldi topografici ciascuno posti a cavallo della galleria in corrispondenza rispettivamente di Via Vecchia di Frabosa, degli edifici A-B-C, e degli edifici D-E-F, per rilevare l'effettiva geometria dell'eventuale bacino di subsidenza;
- esecuzione a cura dell'appaltatore di uno stato di consistenza sui fabbricati per fotografare la situazione degli stessi ante operam;
- installazione sui fabbricati di una strumentazione di monitoraggio con misure da effettuarsi mediante:
 - a) punti di controllo per livellazioni topografiche lungo il perimetro degli edifici;
 - b) mire ottiche sulle pareti degli edifici;
 - c) piastre (borchie) sulle pareti degli edifici per l'esecuzione di misure di inclinazione mediante clinometro (tiltmeter) portatile;

- d) fessurimetri meccanici sulle pareti degli edifici;
- e) fessurimetri elettrici limitatamente agli edifici B e C;

La tavola "Planimetria monitoraggi imbocchi galleria S Lorenzo", codice 03.13.P00.GET.PL01, riporta l'ubicazione della strumentazione sopra richiamata

Stante le condizioni di pericolosità geomorfologica dei versanti si è inoltre previsto il monitoraggio delle paratie d'imbocco della galleria naturale, nonché della paratia sul rione Borgato in destra idrografica dell'Ermena. In tal caso il monitoraggio, rappresentato nei prospetti "Imbocco ovest" codice 03.14.P00.GE00.GET.PS01, "Imbocco est" codice 03.15.P00.GE00.GET.PS02, e nella tavola "Monitoraggi paratia Rione Borgato" codice 03.16.P00.GE00.GET.PL02 comprende:

- inclinometri di profondità 20 m a tergo delle paratie che, ad eventuale integrazione di quelli già installati nelle vicinanze in fase di progettazione, permetteranno di riscontrare eventuali spostamenti a tergo dell'opera. Sono previsti in particolare 3 inclinometri sulla paratia ovest, 2 su quella est e 1 sulla paratia del rione Borgato;
- sul fronte delle paratie mire topografiche da traguardare mediante stazione totale integrate da piastre per clinometri e, per le sole paratie agli imbocchi della galleria, da alcune celle di carico toroidali in corrispondenza dei tiranti.

Le figure seguenti riportano l'ubicazione delle opere e delle strutture monitorate.

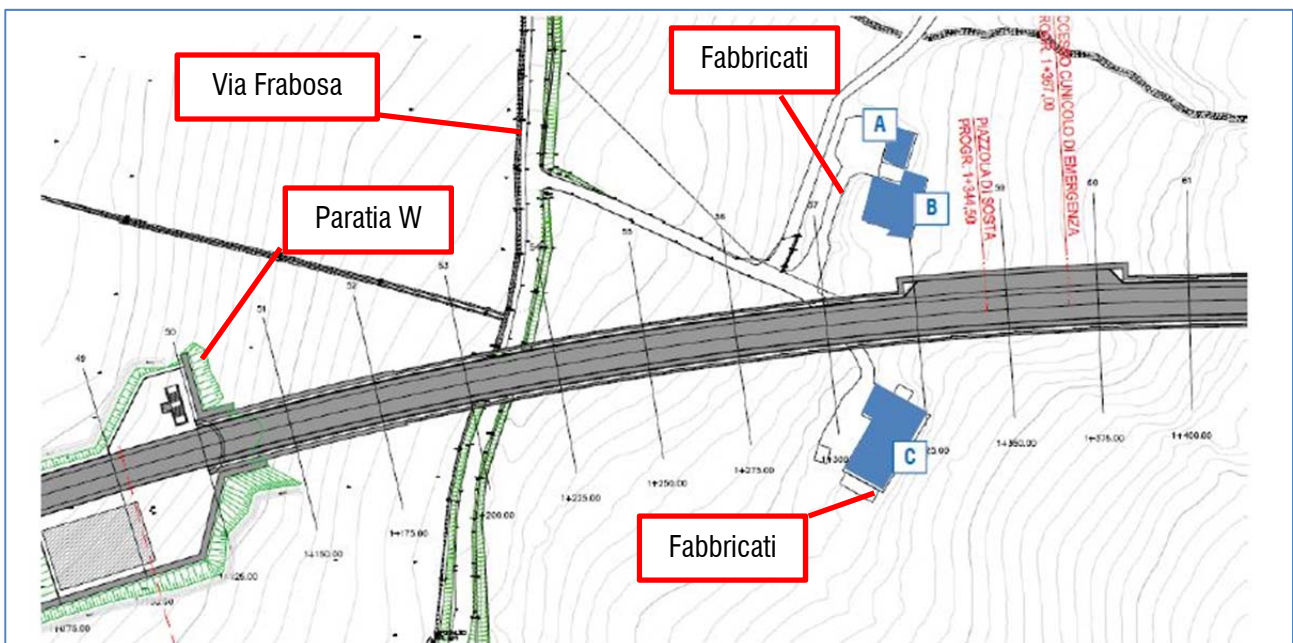


Figura 10.1 Imbocco W galleria S. Lorenzo. Fabbricati A-B-C e paratia

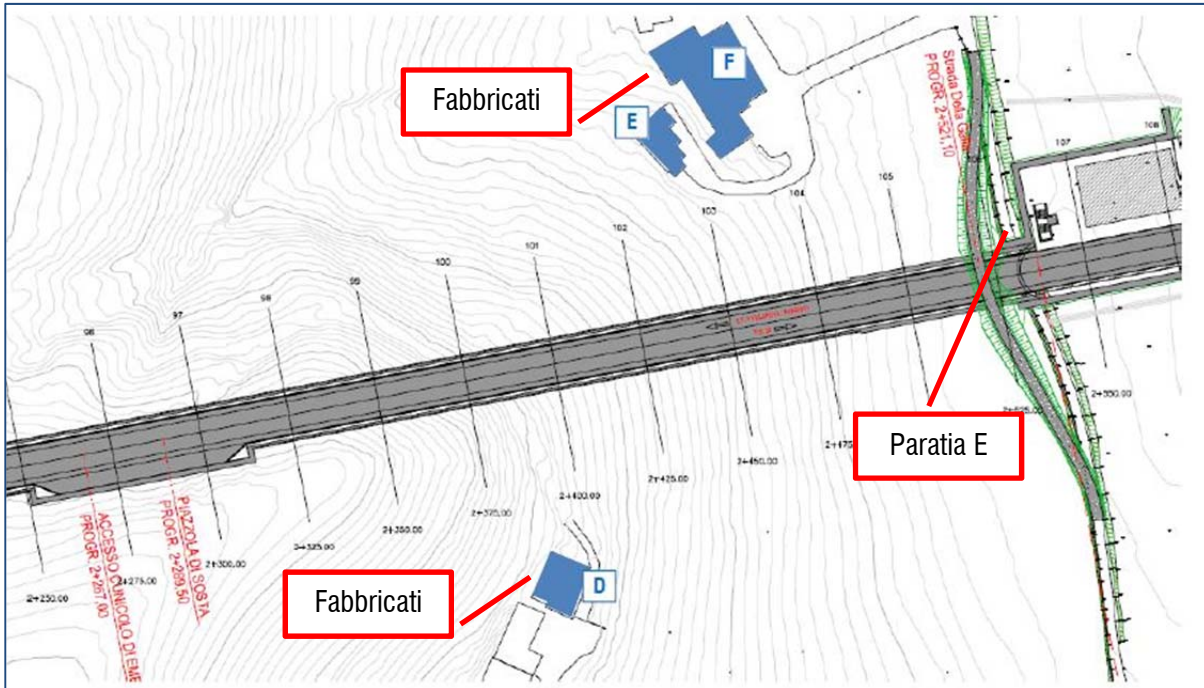


Figura 10.2 Imbocco E galleria S. Lorenzo. Fabbricati D-E-F e paratia

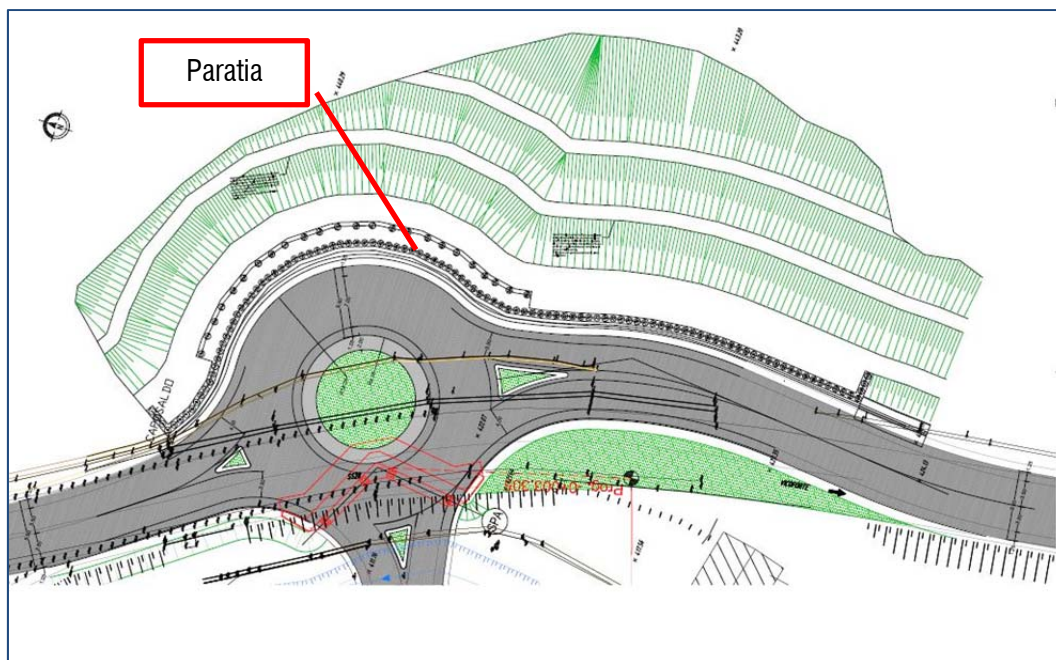


Figura 10.3 Paratia Rione Borgato

Le misure sugli inclinometri saranno effettuate con cadenza trimestrale, durante l'arco di tempo dei lavori e successivamente nel post opera per un anno. Le misure sulla strumentazione installata al fronte delle paratie saranno effettuate settimanalmente sino a condizioni di fronte + 50 m rispetto all'imbocco, e comunque fino a stabilizzazione degli spostamenti. Successivamente potranno proseguire con cadenza trimestrale fino al ritombamento delle opere.

11 BIBLIOGRAFIA

- AA. VV. (1981) "Rock characterization, testing and monitoring" – ISRM suggested methods, Pergamon Press, Oxford.
- AA. VV. (1981) "Basic Geotechnical Description of rock masses" – In. J. Rock Mech. & Min. Sci., vol.18, n.1, pp.85-110.
- Barla G., Forlati F., Scavia C. & Vai L. (1986) "Classificazione geomeccanica: valutazione dei parametri di progetto" – Ed. Politecnico di Torino, Dip, Ingegneria Strutturale. Pp.10/1-10/15
- Berardi R. Bellingeri P. (1998) "Deformabilità degli ammassi rocciosi da approcci empirici: influenza della qualità del materiale roccioso e dello stato di sforzo in sito" – Rivista Italiana di Geotecnica. Gennaio – marzo 1998, pp39-55
- Bieniawski Z.T. (1974) "Geomechanics classification of rock masses and its application in tunneling – Proc.3rd Int. Congr. Rock Mech. ISRM, vol.2A, Denver
- Bieniawski Z.T. (1978) "Determining rock mass deformability experiences from case histories – Int. J. Rock Mech. Sci & Geomech. Abstr., 15, pp.41-48
- Bieniawski Z.T. (1979) "The geomechanics classification in rock engineering application – Proc. Xth. Int. Congr. ISRM, vol.2, Montreux, pp.41-48
- Bieniawski Z.T. (1984) "Rock mechanics design in mining and tunnelling – A.A. Balkema, Rotterdam
- Bieniawski Z.T. (1988) "The rock mass rating (RMR) system (Geomechanics Classification) in engineering practice" – Rock Classification System for Engineering Purposes, ASTM ATP 984, Louis Kirkaldie Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp.17-34
- Bieniawski Z.T. (1989) "Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologist in mining, civil and petroleum engineering" – Wiley-Interscience, New York
- Brady B.H.G. & Brown E.T. (1985) "Rock mechanics for underground mining" – Chapman & Hall, London
- Boccaletti M., Coli M. et alt. (1980) "Evoluzione dell'appennino settentrionale secondo un nuovo modello strutturale" – Mem. Soc. Geol. It.
- Boccaletti M. e Tortorici L. (1987) "Appunti di geologia strutturale" – Patron Editore, Bologna
- Bringiotti M. "Guida al Tunnelling: L'arte e la tecnica" e "Guida al tunnelling: l'evoluzione e la sfida" Edizioni PEI Srl Parma. i
- Dogliani C. "Elementi di tettonica" – Università di Ferrara, Istituto di geologia, Ferrara
- Hoek E. & Brown E.T. (1980) "Undergaround excavation in rock" – Institution of Mining and Metallurgy, Lond

Hoek, E and Brown, E.T. (1980) "Empirical strength criterion for rock masses". – J. Geotech Eng. Div. ASCE 106(GT9) pp.1013-1035

Hoek E. (1983) "Strength of jointed rock masses" – Geotechnique, n.33, pp.187-223

Hoek E. (1990) "Estimating Mohr – Coulomb friction and cohesion values from the Hoec-Brown failure criterion". Intl. J. Rock Mech. & Min. Sci. & geomechanics Abstracts 12 (3) pp 227-229.

Hoek E. (1994) "Strength of rock and rock masses" – ISRM News Journal, vol.2, n.2, pp.4-16

E. Hoek, P. G. Marinos, V. P. Marinos - Characterization and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses - International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences

Serafim J.L. & Pereira J.P. (1983) "Consideration of the geomechanical classification of Bieniawski" – Proc. Int. Symp. On Engineering Geology and Underground Construction, Lisbon, 1 (II), pp.33-44

Hoek & Marinos (2001) " Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as Flysch" – Bull Eng Geol Env pp 86-92

Hoek, Marinos & Benissi (1998) " Applicability of the geological strength index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation" Bull Eng Geol Env pp 151-160

ALLEGATO 1

Campagna geognostica anno 2019

Tabelle riepilogative prove di classificazione e caratterizzazione geotecnica

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	WI (%)	Wp (%)	Ip	Ic	Granulometria				UNI 10007	
											Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		
S02_PZ	CR1	2-3	Alluvioni antiche	GSL			ND	ND	ND			23.5	46.5	24	6	A2.4
S02_PZ	CR2	8-8.5	Cassano S	Sabbia			ND	ND	ND			2	74	19	5	A2.4
S02_PZ	CI1	10.5-11	Cassano S	Sabbia	22.3	17.55	ND	ND	ND				85.5	10	4.5	A2.4
S02_PZ	CI2	14-14.3	S. Agata	Argilla	22	19.08	37.6	24.2	13.4	1.17			29	55	16	A6
S02_PZ	CR3	20-20.5	S. Agata	Argilla	8.49	16.01	31.9	20.9	11			1.5	30.5	53.5	14.5	A6
S02_PZ	CR4	27.5-28	S. Agata	Argilla			43	25.4	17.6			1	26	57	16	A7
S03_DH	CR1	1-1.5	Alluvioni antiche	GS			ND	ND	ND			60	32.5	5.5	2	A1a
S03_DH	CI1	4.65-5.1	Argille grigie	Marne	20.8	19.7	32.4	20.8	11.6	1	0	21.5	60	18.5	A6	
S03_DH	CR2	7.5-8	Argille grigie	Marne	20.2	20.13	ND	ND	ND				32	58	10	A4
S03_DH	CR3	8.5-9	Argille grigie	Marne		18.75	ND	ND	ND				25	66	9	A4
S03_DH	CR4	12-12.5	Argille grigie	Marne		18.15	42.0	26.1	16.0				18.5	57	24.5	A7
S03_DH	CR5	13.3-13.8	Argille grigie	Marne		17.96	ND	ND	ND				74.5	24.5	1	A2.4
S03_DH	CR6	15-15.4	Argille grigie	Marne		17.31	ND	ND	ND			0.5	21	69	9.5	A4
S03_DH	CR7	15.4-16	Cassano S	Sabbia			ND	ND	ND			15	74	8.5	2.5	A2.4
S03_DH	CR8	17-18	Cassano S	GS			ND	ND	ND			49	34	14	3	A2.4
S03_DH	CR9	20.3-21	Cassano S	SGL			ND	ND	ND			25	48	18	9	A2.4
S03_DH	CR10	28-29	Cassano S	GSL								50	35	10.5	4.5	A2.4
S03_DH	CR11	33.4-34	S. Agata	Marna		18.52	47.7	23.7	24.0			0.5	18.5	54	27	A7
S04_I	CR1	1-2	Alluvioni attuali	GS			ND	ND	ND			63.5	21.5	10	5	A1b
S04_I	CL1	5-6	S. Agata	Marna		21.1										
S04_I	CR2	6-6.5	S. Agata	Marna		21.17	34.7	21.7	13			2.5	31.5	51	15	A6
S04_I	CL2	8-8.6	S. Agata	Marna		21.48										
S04_I	CL3	10-11	S. Agata	Marna		20.78										
S04_I	CL4	12-12.8	S. Agata	Marna		20.86										
S04_I	CL5	17-17.9	S. Agata	Marna		22.1										
S04_I	CL6	19-19.6	S. Agata	Marna		21.86										
S04_I	CL7	23-23.8	S. Agata	Marna		23.78										
S04_I	CL8	28-28.8	S. Agata	Marna		21.44										
S05_PZ	CR1	1.5-2	Cassano S	SLA			40.3	28.5	11.8			10	30.5	27.5	32	A7.6
S05_PZ	CR2	4.5-5	Cassano S	SL			ND	ND	ND			71	18.5	6	4.5	A1.a
S05_PZ	CI1	8.2-8.6	Cassano S	SGLA	15	20.41	31	20.2	10.8	1.48		24.5	37	21.5	17	A6
S05_PZ	CR3	13.5-14	Cassano S	SGL			ND	ND	ND			18	66.5	10	5.5	A1.b
S05_PZ	CR4	18-18.5	Cassano S	SL		16.7	38.2	22.3	15.9			7	49	27	17	A6
S05_PZ	CL1	23.3-24	S. Agata	Marna		19.77										
S05_PZ	CL2	25-25.5	S. Agata	Marna		22.32										
S05_PZ	CL3	28-28.5	S. Agata	Marna		20.73										
S05bis_PZ	CR1	2-2.5	Cassano S	LS			54.1	30.7	23.4			7.5	48.5	24	20	A7-5
S05bis_PZ	CR2	5.5-6	Cassano S	LAS			63	35.4	27.6			6	20	46	28	A7-5
S05bis_PZ	CI1	7.2-7.8	Cassano S	LSA	26.6	17.56	42.5	27.4	15.1				30	56.5	13.5	A7-6
S05bis_PZ	CR3	8-9	Cassano S	LAS	22.3	18.62	55.5	28.3	27.2				14.5	47.5	38	A7-6
S05bis_PZ	CR4	11-12	S. Agata	Marna		19.98						0	20	58	22	A4
S05bis_PZ	CL1	18-19	S. Agata	Marna		19.77										
S05ter_I	CR1	2-2.5	Cassano S	Paleosuolo			39.5	26.1	13.4				20	49.5	30.5	A6
S05ter_I	CR2	4.1-5	S. Agata	Arenaria		21.27										
S05ter_I	CL1	7-8	S. Agata	Marna		21.06										
S05ter_I	CR3	12-13	S. Agata	Arenaria		18.68										
S05ter_I	CL2	23-24	S. Agata	Marna		20.55										
S06_I	CR1	2-2.5	Cassano S	SL			30	20.7	9.3			0.5	64.5	22	13	A4

Tabella 1/3. Riepilogo prove geotecniche di classificazione delle terre.

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	WI (%)	Wp (%)	Ip	Ic	Granulometria				UNI 10007	
											Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		
S06_I	CR2	5-5.9	Cassano S	LSA		18.38	52	28.3	23.7			0	27	47	26	A7-6
S06_I	CL1	12-12.3	S. Agata	Marna		20.37										
S06_I	CL2	14-14.6	S. Agata	Marna		21.87										
S06_I	CL3	15-16	S. Agata	Marna		19.09										
S06_I	CR3	22.6-23.5	S. Agata	SGL			ND	ND	ND			32.5	38.5	20	9	A2.4
S06_I	CL4	25-25.8	S. Agata	Marna		20.5										
S06_I	CR4	27.5-28.5	S. Agata	SL			ND	ND	ND			6	47.5	36.5	10	A4
S07_PZ	CR1	2-3	Cassano S	SLA			45.4	24.7	20.7			5	48	25.5	21.5	A7
S07_PZ	CR2	6-6.8	S. Agata	Marna		19.6	52.5	26.3	26.2				3	52	45	A7
S07_PZ	CL1	9.1-10	S. Agata	Marna		20.82										
S07_PZ	CR4	14-15	S. Agata	Arenaria			26.35	18.7	7.7			15.5	47	26	11.5	A4
S07_PZ	CR5	19-20	S. Agata	Marna		21.46	41.75	24.7	17.1			1	36	34	29	A7
S07_PZ	CR6	23-23.5	S. Agata	Arenaria			26.35	18.7	7.7			23	40	30	7	A4
S07_PZ	CL2	29.1-29.9	S. Agata	Marna		20.97										
S07_PZ	CR8	33.4-34	S. Agata	Marna			36.25	19.5	16.8			6	23	47	24	A6
S07_PZ	CL3	37-38	Lequio	Arenaria		21.9										
S07_PZ	CR9	39-39.5	Lequio	Arenaria			46.5	23.2	23.3			1	24.5	49.5	25	A7
S07_PZ	CR10	44-44.7	Lequio	Arenaria			44	23.8	20.2			6	38	37	19	A7
S07_PZ	CR11	46-47	Lequio	Arenaria		21.8	ND	ND	ND			56	22	17	5	A1a
S07_PZ	CL4	48-49	Lequio	Marna		23.36										
S07_PZ	CL5	55.7-56.4	Lequio	Conglom.		22.23										
S08_PZ	CL1	78.22-78.8	S. Agata	Marna		21.6										
S08_PZ	CL2	82-82.8	S. Agata	Marna		20.76										
S08_PZ	CL3	84-85	S. Agata	Marna		20.76										
S08_PZ	CL4	86-86.6	Lequio	Marna		21.08										
S08_PZ	CL5	89-90	Lequio	Calcare		25.48										
S08_PZ	CL6	93-94	Lequio	Calcare		20.37										
S08_PZ	CR1	98-99	Lequio	Arenaria		17.15							91	6.5	2.5	
S08_PZ	CL7	100.4-100.7	Lequio	Marna		19.24										
S08_PZ	CL8	101-101.4	Lequio	Calcare		20.88										
S08_PZ	CL9	104-104.5	Lequio	Calcare		20.11										
S08_PZ	CL10	105.1-105.9	Lequio	Calcare		21.27										
S08_PZ	CL11	106-106.4	Lequio	Calcare		20.25										
S08_PZ	CR2	106.4-106.7	Lequio	Arenaria		19.86						1	49	42	8	A4
S08_PZ	CL12	111.5-112	Lequio	Marna		20.68										
S08_PZ	CL13	117-118	Lequio	Arenaria		21.51										
S09_PZ	CR1	35-35.5	Lequio	Sabbia			26.8	19.1	7.7			1	52	34.5	12.5	A4
S09_PZ	CR2	42-42.3	Lequio	Arenaria		19.94	25.9	22.5	3.5			1	56	31	12	A4
S09_PZ	CR3	45-45.5	Lequio	Arenaria			25	15	10.0			25.5	41	21.5	12	A4
S09_PZ	CR4	50-51	Lequio	Arenaria		19.13						0.5	81.5	16	2	A2.4
S09_PZ	CL1	53-54	Lequio	Arenaria		21.1										
S09_PZ	CL2	57-58	Lequio	Arenaria		21.55										
S09_PZ	CL3	59-60	Lequio	Arenaria		23.79										

Tabella 2/3. Prove di classificazione delle terre

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Wn (%)	P/V (Mg/mc)	WI (%)	Wp (%)	Ip	Ic	Granulometria				UNI 10007
											Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	
S09_PZ	CL4	63-64	Lequio	Arenaria		22.5									
S09_PZ	CL5	65-66	Lequio	Arenaria		22.04									
S09_PZ	CL6	68.1-69	Lequio	Arenaria		21.05									
S09_PZ	CL7	69-69.7	Lequio	Arenaria		21.92									
S10_PZ	CR1	2-2.5	Alluvioni terrazz	SL			29.9	25.4	4.5			30.5	47.5	22	A4
S10_PZ	CI1	4.5-5.1	Alluvioni terrazz	SLA	18.6	20.07	38	20	18.0	1.08		37	34	29	A6
S10_PZ	CR2	8.5-9	Alluvioni terrazz	SL	20.6	19.83	24.5	17.5	7.0			57	30.5	12.5	A4
S10_PZ	CL1	12-12.5	S. Agata	Marna		18.84									
S11_PZ	CR1	2.5-3	S. Agata	Marna			36.6	23.6	13.0		12	28	38	22	A4
S11_PZ	CL1	5-5.5	S. Agata	Marna		17.88									
S11_PZ	CL2	9-9.7	S. Agata	Marna		21.26									
S11_PZ	CL3	16-16.6	S. Agata	Marna		19.3									
S11_PZ	CL4	19-19.5	S. Agata	Marna		19.07									
S12_DH	CR1	6-6.5	S. Agata	Marna		17.59	47.3	27	20.3			5	56	39	A7.6
S12_DH	CR2	10.4-11	S. Agata	Marna		18.42	43	24.6	18.4		0.5	20.5	43	36	A7.6
S12_DH	CR3	15-15.5	S. Agata	Marna		19.8	40.8	25.3	15.5		3	13	67.5	16.5	A7.6
S12_DH	CI1	19.5-20	S. Agata	Marna	16.8	18.43	44.9	26.8	18.1			37	45	18	A7.6
S12_DH	CR4	23.3-24	S. Agata	Marna		20.95	49	27.7	21.4		1.5	20.5	57	21	A7.6
S12_DH	CR5	29-29.7	S. Agata	Marna			46.8	34.1	12.7		3	25.5	46.5	25	A7.6
S13_I	CR1	1.5-2	Cassano S	SLA	16.3	19.07	33.1	23.3	9.8		16	43.5	26.5	14	A4
S13_I	CR2	4-4.5	Cassano S	SL			32.4	20.1	12.3		21.5	45.5	20	13	A2-6
S13_I	CI1	8.6-9	Cassano S	LAS	31.2	18.28	65	36.3	28.7	1.18		26	47	27	A7.6
S13_I	CR3	13-14	S. Agata	Marna		20.47						28	56	16	A4
S13_I	CR4	16-16.5	S. Agata	Marna		20.88						29	60.5	10.5	A4
S13_I	CL1	19-20	S. Agata	Arenaria		17.61									

Tabella 3/3. Prove di classificazione delle terre

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Is50	ELL	E	Poisson	Triax UU	Triassiale CID			TAGLIO DIRETTO			Traissiale CIU		Triassiale in roccia		τ (Mpa)
					σc (Mpa)	σc (Mpa)	(GPa)		Cu (kPa)	c' (KpA)	φ' (°)	c' (KpA)	φ' (°)	φ res (°)	c' (KpA)	φ' (°)	c' (Mpa)	φ' (°)		
S02_PZ	CR1	2-3	Alluvioni antiche	GSL																
S02_PZ	CR2	8-8.5	Cassano S	Sabbia																
S02_PZ	CI1	10.5-11	Cassano S	Sabbia									13.62	35.48						
S02_PZ	CI2	14-14.3	S. Agata	Argilla									24.24	31.18						
S02_PZ	CR3	20-20.5	S. Agata	Argilla									24.29	30.57						
S02_PZ	CR4	27.5-28	S. Agata	Argilla								24.29	30.57							
S03_DH	CR1	1-1.5	Alluvioni antiche	GS																
S03_DH	CI1	4.65-5.1	Argille grigie	Marne												32.34	28.2			
S03_DH	CR2	7.5-8	Argille grigie	Marne									18.17	30.11						
S03_DH	CR3	8.5-9	Argille grigie	Marne									16.88	30.25						
S03_DH	CR4	12-12.5	Argille grigie	Marne												27.27	30.4			
S03_DH	CR5	13.3-13.8	Argille grigie	Marne								12.41	35							
S03_DH	CR6	15-15.4	Argille grigie	Marne								20.09	30.19							
S03_DH	CR7	15.4-16	Cassano S	Sabbia																
S03_DH	CR8	17-18	Cassano S	GS																
S03_DH	CR9	20.3-21	Cassano S	SGL																
S03_DH	CR10	28-29	Cassano S	GSL																
S03_DH	CR11	33.4-34	S. Agata	Marna									28.73	32.31						
S04_I	CR1	1-2	Alluvioni attuali	GS																
S04_I	CL1	5-6	S. Agata	Marna		3.71	1.81	0.42												
S04_I	CR2	6-6.5	S. Agata	Marna																
S04_I	CL2	8-8.6	S. Agata	Marna		2.2	0.45	0.45												
S04_I	CL3	10-11	S. Agata	Marna		2.62	0.84	0.46												
S04_I	CL4	12-12.8	S. Agata	Marna		2.8														
S04_I	CL5	17-17.9	S. Agata	Marna		5.74	0.8	0.43												
S04_I	CL6	19-19.6	S. Agata	Marna		6.3														
S04_I	CL7	23-23.8	S. Agata	Marna		5.45	2.42	0.42												
S04_I	CL8	28-28.8	S. Agata	Marna		4.59	1.29	0.49												
S05_PZ	CR1	1.5-2	Cassano S	SLA																
S05_PZ	CR2	4.5-5	Cassano S	SL																
S05_PZ	CI1	8.2-8.6	Cassano S	SGLA									17.61	32.42	22.07					
S05_PZ	CR3	13.5-14	Cassano S	SGL																
S05_PZ	CR4	18-18.5	Cassano S	SL									18.92	32.12	20.4					
S05_PZ	CL1	23.3-24	S. Agata	Marna	0.16															
S05_PZ	CL2	25-25.5	S. Agata	Marna		13.7	2.8	0.47												
S05_PZ	CL3	28-28.5	S. Agata	Marna		2														
S05bis_PZ	CR1	2-2.5	Cassano S	LS																
S05bis_PZ	CR2	5.5-6	Cassano S	LAS																
S05bis_PZ	CI1	7.2-7.8	Cassano S	LSA									26.27	29.79	21.41					
S05bis_PZ	CR3	8-9	Cassano S	LAS									26.56	30.33	14.98					
S05bis_PZ	CR4	11-12	S. Agata	Marna		2.2							41.63	29.08						
S05bis_PZ	CL1	18-19	S. Agata	Marna	0.59															
S05ter_I	CR1	2-2.5	Cassano S	Paleosuolo																
S05ter_I	CR2	4.1-5	S. Agata	Arenaria		0.69							39.13	28.38						
S05ter_I	CL1	7-8	S. Agata	Marna		4.4														
S05ter_I	CR3	12-13	S. Agata	Arenaria									24.5	30.38						
S05ter_I	CL2	23-24	S. Agata	Marna	0.73															
S06_I	CR1	2-2.5	Cassano S	SL																

Tabella 1/3. Prove di caratterizzazione geotecnica

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Is50	ELL	E	Poisson	Triax	Triassiale CID			TAGLIO DIRETTO			Traissiale CIU		Triassiale in roccia		τ (Mpa)
					σc (MPa)	σc (MPa)	(GPa)		Cu (kPa)	c' (KPa)	φ' (°)	φ' (°)	φ res (°)	c' (KPa)	φ' (°)	c' (MPa)	φ' (°)			
S06_I	CR2	5-5.9	Cassano S	LSA																
S06_I	CL1	12-12.3	S. Agata	Marna																
S06_I	CL2	14-14.6	S. Agata	Marna		8.2														
S06_I	CL3	15-16	S. Agata	Marna	0.18	3.1														
S06_I	CR3	22.6-23.5	S. Agata	SGL																
S06_I	CL4	25-25.8	S. Agata	Marna	0.6	8.5														
S06_I	CR4	27.5-28.5	S. Agata	SL																
S07_PZ	CR1	2-3	Cassano S	SLA																
S07_PZ	CR2	6-6.8	S. Agata	Marna					326.6											
S07_PZ	CL1	9.1-10	S. Agata	Marna		2.2														
S07_PZ	CR4	14-15	S. Agata	Arenaria																
S07_PZ	CR5	19-20	S. Agata	Marna					789.9											
S07_PZ	CR6	23-23.5	S. Agata	Arenaria																
S07_PZ	CL2	29.1-29.9	S. Agata	Marna		6.92	2.14	0.42												
S07_PZ	CR8	33.4-34	S. Agata	Marna																
S07_PZ	CL3	37-38	Lequio	Arenaria		0.81	0.43	0.48												0.3
S07_PZ	CR9	39-39.5	Lequio	Arenaria																
S07_PZ	CR10	44-44.7	Lequio	Arenaria																
S07_PZ	CR11	46-47	Lequio	Arenaria																
S07_PZ	CL4	48-49	Lequio	Marna		9.7														
S07_PZ	CL5	55.7-56.4	Lequio	Arenaria		7.6												11.63	45.43	
S08_PZ	CL1	78.22-78.8	S. Agata	Marna		4.3														
S08_PZ	CL2	82-82.8	S. Agata	Marna		8	1.2	0.42												
S08_PZ	CL3	84-85	S. Agata	Marna		9.7	1.1	0.44												
S08_PZ	CL4	86-86.6	Lequio	Marna		2.9														
S08_PZ	CL5	89-90	Lequio	Calcere		27.2														
S08_PZ	CL6	93-94	Lequio	Calcere		0.5														
S08_PZ	CR1	98-99	Lequio	Arenaria								11.93	36.1							
S08_PZ	CL7	100.4-100.7	Lequio	Marna																0.27
S08_PZ	CL8	101-101.4	Lequio	Calcere		3.6														
S08_PZ	CL9	104-104.5	Lequio	Calcere		4.6	0.6	0.42												
S08_PZ	CL10	105.1-105.9	Lequio	Calcere																0.13
S08_PZ	CL11	106-106.4	Lequio	Calcere		8.3														
S08_PZ	CR2	106.4-106.7	Lequio	Arenaria								20	35.18							
S08_PZ	CL12	111.5-112	Lequio	Marna		2.7														
S08_PZ	CL13	117-118	Lequio	Arenaria		2.8														
S09_PZ	CR1	35-35.5	Lequio	Sabbia																
S09_PZ	CR2	42-42.3	Lequio	Arenaria		0.39						19.83	33.57							
S09_PZ	CR3	45-45.5	Lequio	Arenaria																
S09_PZ	CR4	50-51	Lequio	Arenaria							12.75	35.6								
S09_PZ	CL1	53-54	Lequio	Arenaria		2.8	0.2	0.4												
S09_PZ	CL2	57-58	Lequio	Arenaria		1.7														
S09_PZ	CL3	59-60	Lequio	Arenaria		7.6														

Tabella 2/3. Prove di caratterizzazione geotecnica

Sondaggio	Campione	Profondità (m)	Formazione	Litologia	Is50	ELL	E	Poisson	Triax	Triassiale			TAGLIO DIRETTO			Traissiale		Triassiale		τ
					σc (MPa)	σc (MPa)	(GPa)		UU	c'	φ'	φ' res	c'	φ'	c'	φ'	c'	φ'	(MPa)	
S09_PZ	CL4	63-64	Lequio	Arenaria															0.21	
S09_PZ	CL5	65-66	Lequio	Arenaria		6.3	0.6	0.36												
S09_PZ	CL6	68.1-69	Lequio	Arenaria		5.8	0.7	0.42												
S09_PZ	CL7	69-69.7	Lequio	Arenaria		4.5														
S10_PZ	CR1	2-2.5	Alluvioni terrazz	SL																
S10_PZ	CI1	4.5-5.1	Alluvioni terrazz	SLA					26.14	30.37	21.38									
S10_PZ	CR2	8.5-9	Alluvioni terrazz	SL								12.29	32.69	19.32						
S10_PZ	CI2A	10-10.4	Alluvioni terrazz	GSL																
S10_PZ	CI2B	10.4-10.6	Alluvioni terrazz	LAS																
S10_PZ	CL1	12-12.5	S. Agata	Marna																
S11_PZ	CR1	2.5-3	S. Agata	Marna																
S11_PZ	CL1	5-5.5	S. Agata	Marna		3.4														
S11_PZ	CL2	9-9.7	S. Agata	Marna		4.2														
S11_PZ	CL3	16-16.6	S. Agata	Marna		5.8														
S11_PZ	CL4	19-19.5	S. Agata	Marna	0.27															
S12_DH	CR1	6-6.5	S. Agata	Marna		0.08						22.23	27.31							
S12_DH	CR2	10.4-11	S. Agata	Marna								25.33	28.43							
S12_DH	CR3	15-15.5	S. Agata	Marna								26.89	32.22							
S12_DH	CI1	19.5-20	S. Agata	Marna											27.3	31.73				
S12_DH	CR4	23.3-24	S. Agata	Marna		1.81														
S12_DH	CR5	29-29.7	S. Agata	Marna																
S13_I	CR1	1.5-2	Cassano S	SLA								25.4	31.78	21.89						
S13_I	CR2	4-4.5	Cassano S	SL																
S13_I	CI1	8.6-9	Cassano S	LAS						35.44	27.08									
S13_I	CR3	13-14	S. Agata	Marna		0.4						35.66	30.58							
S13_I	CR4	16-16.5	S. Agata	Marna		1.46						35.93	31.61							
S13_I	CL1	19-20	S. Agata	Arenaria	0.15															

Tabella 3/3. Prove di caratterizzazione geotecnica

ALLEGATO 2

Tabulati di calcolo GStable. Verifiche di stabilità pendii naturali, scavi e rilevati

*** **GSTABL7** ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 31/01/2020

Time of Run: 03:58

Run By: Username

Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15a.in

Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15a.OUT

Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15a.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 15 in rilevato
Verifica statica

BOUNDARY COORDINATES

4 Top Boundaries

5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	462.10	14.40	461.50	2
2	14.40	461.50	15.80	462.40	2
3	15.80	462.40	21.80	466.35	1
4	21.80	466.35	30.00	466.35	1
5	15.80	462.40	30.00	462.40	2

User Specified Y-Origin = 455.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Total Saturated Cohesion Friction Pore Pressure Piez.
Type Unit Wt. Unit Wt. Intercept Angle Pressure Constant Surface

No.	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kPa)	(deg)	Param.	(kPa)	No.
-----	----------------------	----------------------	-------	-------	--------	-------	-----

1	19.0	19.0	4.0	30.1	0.00	0.0	1
2	19.0	19.0	12.0	24.8	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 3 Coordinate Points

Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
-----------	-------------	-------------

1	0.00	462.00
2	14.00	461.50
3	30.00	465.00

1

BOUNDARY LOAD(S)

1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (m)	X-Right (m)	Intensity (kPa)	Deflection (deg)
1	23.00	28.00	26.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 5.00(m) and X = 15.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 22.00(m) and X = 30.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 3.832 FS Min = 1.579 FS Ave = 1.976
Standard Deviation = 0.255 Coefficient of Variation = 12.89 %

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	14.184	461.509
2	15.166	461.323
3	16.162	461.236
4	17.162	461.249
5	18.156	461.362
6	19.133	461.573
7	20.085	461.881
8	21.001	462.282
9	21.872	462.772
10	22.691	463.347
11	23.447	464.001
12	24.135	464.727
13	24.747	465.518
14	25.267	466.350

Circle Center At X = 16.533 ; Y = 471.237 ; and Radius = 10.008

Factor of Safety
*** 1.579 ***

Individual data on the 20 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	0.8	5.1	0.0	2.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	0.6	10.8	0.0	3.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
4	0.4	8.7	0.0	2.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
5	1.0	32.8	0.0	8.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
6	1.0	41.7	0.0	9.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
7	0.0	2.0	0.0	0.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
8	1.0	52.1	0.0	10.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
9	1.0	57.5	0.0	9.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0

10	0.9	59.9	0.0	8.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
11	0.2	14.2	0.0	1.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
12	0.6	40.2	0.0	3.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
13	0.1	5.0	0.0	0.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
14	0.8	51.1	0.0	2.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
15	0.1	4.7	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
16	0.2	12.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
17	0.4	21.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	11.6
18	0.7	25.9	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	17.9
19	0.6	14.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	15.9
20	0.5	4.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	13.5

*** GSTABL7 ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/02/2020
Time of Run: 06:10
Run By: Username
Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15c.in
Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15c.OUT
Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15c.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 15 in rilevato
Verifica statica

BOUNDARY COORDINATES

4 Top Boundaries
5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	462.10	14.40	461.50	2

2	14.40	461.50	15.80	462.40	2
3	15.80	462.40	21.80	466.35	1
4	21.80	466.35	30.00	466.35	1
5	15.80	462.40	30.00	462.40	2

User Specified Y-Origin = 455.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
---------------	-------------------------------------	---	--------------------------	----------------------	----------------------------	-------------------------	-------------------

1	19.0	19.0	4.0	30.1	0.00	0.0	1
2	19.0	19.0	12.0	24.8	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 3 Coordinate Points
Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	462.00
2	14.00	461.50
3	30.00	465.00

1

BOUNDARY LOAD(S)

1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (m)	X-Right (m)	Intensity (kPa)	Deflection (deg)
1	23.00	28.00	26.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced
Along The Ground Surface Between $X = 10.00(m)$
and $X = 18.00(m)$

Each Surface Terminates Between $X = 22.00(m)$
and $X = 25.00(m)$

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
At Which A Surface Extends Is $Y = 0.00(m)$

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Evaluated. They Are
Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 3.211 FS Min = 1.558 FS Ave = 1.875
Standard Deviation = 0.233 Coefficient of Variation = 12.43 %

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	16.204	462.666
2	17.197	462.785
3	18.178	462.981
4	19.140	463.252
5	20.079	463.596
6	20.989	464.011
7	21.864	464.495
8	22.699	465.046
9	23.489	465.659
10	24.229	466.331
11	24.247	466.350

Circle Center At $X = 15.156$; $Y = 475.579$; and Radius = 12.955

Factor of Safety
*** 1.558 ***

Individual data on the 12 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force Top (kN)	Water Force Bot (kN)	Tie Force Norm (kN)	Tie Force Tan (kN)	Earthquake Force Hor (kN)	Earthquake Force Ver (kN)	Surcharge Load (kN)
1	1.0	5.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	1.0	14.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	1.0	21.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
4	0.9	26.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
5	0.9	29.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
6	0.8	28.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
7	0.1	2.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
8	0.8	25.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
9	0.3	6.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
10	0.5	8.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	12.7
11	0.7	5.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	19.2
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.5

*** **GSTABL7** ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 31/01/2020

Time of Run: 03:58

Run By: Username

Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15b.in

Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15b.OUT

Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond15b.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 15 in rilevato
Verifica sismica

BOUNDARY COORDINATES

4 Top Boundaries

5 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	462.10	14.40	461.50	2
2	14.40	461.50	15.80	462.40	2
3	15.80	462.40	21.80	466.35	1
4	21.80	466.35	30.00	466.35	1
5	15.80	462.40	30.00	462.40	2

User Specified Y-Origin = 455.00(m)
Default X-Plus Value = 0.00(m)
Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	5.0	36.0	0.00	0.0	1
2	19.0	19.0	15.0	30.0	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 3 Coordinate Points
Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	462.00
2	14.00	461.50
3	30.00	465.00

1

BOUNDARY LOAD(S)

1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (m)	X-Right (m)	Intensity (kPa)	Deflection (deg)
1	23.00	28.00	20.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

Specified Peak Ground Acceleration Coefficient (A) = 0.050(g)
Specified Horizontal Earthquake Coefficient (kh) = 0.050(g)
Specified Vertical Earthquake Coefficient (kv) = 0.025(g)

Specified Seismic Pore-Pressure Factor = 0.000

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random

Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced
Along The Ground Surface Between $X = 5.00(m)$
and $X = 15.00(m)$

Each Surface Terminates Between $X = 22.00(m)$
and $X = 30.00(m)$

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
At Which A Surface Extends Is $Y = 0.00(m)$

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
Failure Surfaces Evaluated. They Are
Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 4.199 FS Min = 1.851 FS Ave = 2.243
Standard Deviation = 0.266 Coefficient of Variation = 11.84 %

Failure Surface Specified By 14 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	14.184	461.509
2	15.159	461.287
3	16.152	461.173
4	17.152	461.168
5	18.147	461.272
6	19.124	461.484
7	20.072	461.801
8	20.981	462.220
9	21.838	462.735
10	22.633	463.341
11	23.358	464.030
12	24.004	464.793
13	24.562	465.623
14	24.943	466.350

Circle Center At $X = 16.700$; $Y = 470.294$; and Radius = 9.138

Factor of Safety

*** 1.851 ***

Individual data on the 20 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	0.8	5.3	0.0	2.2	0.	0.	0.3	0.1	0.0
3	0.6	11.5	0.0	3.5	0.	0.	0.6	0.3	0.0
4	0.4	8.9	0.0	2.5	0.	0.	0.4	0.2	0.0
5	1.0	34.0	0.0	8.7	0.	0.	1.7	0.9	0.0
6	1.0	43.7	0.0	10.0	0.	0.	2.2	1.1	0.0
7	0.0	1.6	0.0	0.4	0.	0.	0.1	0.0	0.0
8	1.0	53.6	0.0	10.9	0.	0.	2.7	1.3	0.0
9	0.9	58.7	0.0	10.4	0.	0.	2.9	1.5	0.0
10	0.9	60.4	0.0	8.8	0.	0.	3.0	1.5	0.0
11	0.3	20.5	0.0	2.5	0.	0.	1.0	0.5	0.0
12	0.5	35.8	0.0	3.4	0.	0.	1.8	0.9	0.0
13	0.0	2.6	0.0	0.2	0.	0.	0.1	0.1	0.0
14	0.8	50.1	0.0	2.5	0.	0.	2.5	1.3	0.0
15	0.1	3.7	0.0	0.0	0.	0.	0.2	0.1	0.0
16	0.3	16.1	0.0	0.0	0.	0.	0.8	0.4	0.0
17	0.4	16.9	0.0	0.0	0.	0.	0.8	0.4	7.2
18	0.6	23.8	0.0	0.0	0.	0.	1.2	0.6	12.9
19	0.6	12.1	0.0	0.0	0.	0.	0.6	0.3	11.2
20	0.4	2.6	0.0	0.0	0.	0.	0.1	0.1	7.6

*** **GSTABL7** ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/02/2020

Time of Run: 05:17

Run By: Username

Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25a.in

Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25a.OUT
Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25a.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 25 in rilevato
Verifica statica

BOUNDARY COORDINATES

9 Top Boundaries

10 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	446.40	8.10	446.40	2
2	8.10	446.40	10.00	447.65	1
3	10.00	447.65	12.00	447.65	1
4	12.00	447.65	20.64	453.40	1
5	20.64	453.40	37.66	453.00	1
6	37.66	453.00	46.20	447.65	1
7	46.20	447.65	48.20	447.65	1
8	48.20	447.65	50.00	446.00	1
9	50.00	446.00	55.00	446.00	2
10	8.10	446.40	50.00	446.00	2

User Specified Y-Origin = 440.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m3)	Saturated Unit Wt. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	2.4	29.3	0.00	0.0	0
2	19.0	19.0	4.0	30.2	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m3)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	445.50
2	55.00	445.50

1

BOUNDARY LOAD(S)

1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (m)	X-Right (m)	Intensity (kPa)	Deflection (deg)
1	21.50	37.00	26.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

Specified Peak Ground Acceleration Coefficient (A) = 0.050(g)

Specified Horizontal Earthquake Coefficient (kh) = 0.050(g)

Specified Vertical Earthquake Coefficient (kv) = 0.025(g)

Specified Seismic Pore-Pressure Factor = 0.000

EARTHQUAKE DATA HAS BEEN SUPPRESSED

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 3.00(m)

and X = 15.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 21.00(m)

and X = 37.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 5.931 FS Min = 1.207 FS Ave = 2.389

Standard Deviation = 0.737 Coefficient of Variation = 30.84 %

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point	X-Surf	Y-Surf
-------	--------	--------

No.	(m)	(m)
1	12.306	447.854
2	13.286	448.053
3	14.254	448.303
4	15.208	448.603
5	16.145	448.953
6	17.062	449.352
7	17.957	449.798
8	18.827	450.291
9	19.670	450.828
10	20.484	451.410
11	21.266	452.033
12	22.015	452.696
13	22.681	453.352

Circle Center At X = 9.009 ; Y = 466.619 ; and Radius = 19.053

Factor of Safety
*** 1.207 ***

Individual data on the 14 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	1.0	4.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	0.0
2	1.0	12.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	0.0
3	1.0	18.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.5	0.0
4	0.9	23.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.6	0.0
5	0.9	27.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.7	0.0
6	0.9	29.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.7	0.0
7	0.9	30.7	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.8	0.0
8	0.8	30.7	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.8	0.0
9	0.8	29.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.7	0.0
10	0.2	5.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	0.0
11	0.6	19.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.5	0.0
12	0.2	5.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	0.0
13	0.5	8.9	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.2	13.4
14	0.7	4.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	17.3

*** GSTABL7 ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/02/2020
Time of Run: 05:18
Run By: Username
Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25b.in
Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25b.OUT
Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25b.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 25 in rilevato
Verifica statica globale

BOUNDARY COORDINATES

9 Top Boundaries
10 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	446.40	8.10	446.40	2
2	8.10	446.40	10.00	447.65	1
3	10.00	447.65	12.00	447.65	1
4	12.00	447.65	20.64	453.40	1
5	20.64	453.40	37.66	453.00	1
6	37.66	453.00	46.20	447.65	1
7	46.20	447.65	48.20	447.65	1
8	48.20	447.65	50.00	446.00	1
9	50.00	446.00	55.00	446.00	2
10	8.10	446.40	50.00	446.00	2

User Specified Y-Origin = 440.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	2.4	29.3	0.00	0.0	0

2 19.0 19.0 4.0 30.2 0.00 0.0 1
1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED
Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points
Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	445.50
2	55.00	445.50

1
BOUNDARY LOAD(S)
1 Load(s) Specified

Load No.	X-Left (m)	X-Right (m)	Intensity (kPa)	Deflection (deg)
1	21.50	37.00	26.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

Specified Peak Ground Acceleration Coefficient (A) = 0.050(g)
Specified Horizontal Earthquake Coefficient (kh) = 0.050(g)
Specified Vertical Earthquake Coefficient (kv) = 0.025(g)

Specified Seismic Pore-Pressure Factor = 0.000

EARTHQUAKE DATA HAS BEEN SUPPRESSED
1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 3.00(m) and X = 8.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 24.00(m) and X = 37.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 3.162 FS Min = 1.391 FS Ave = 2.228
Standard Deviation = 0.361 Coefficient of Variation = 16.19 %

Failure Surface Specified By 20 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	7.490	446.400
2	8.485	446.298
3	9.484	446.252
4	10.483	446.262
5	11.481	446.328
6	12.474	446.450
7	13.458	446.627
8	14.431	446.859
9	15.389	447.146
10	16.329	447.485
11	17.249	447.877
12	18.146	448.320
13	19.016	448.812
14	19.858	449.353
15	20.667	449.940
16	21.443	450.571
17	22.182	451.245
18	22.882	451.959
19	23.541	452.711
20	24.017	453.321

Circle Center At X = 9.808 ; Y = 464.057 ; and Radius = 17.809

Factor of Safety
*** 1.391 ***

Individual data on the 25 slices									
Water Water Tie Tie Earthquake									
Force Force Force Force Force Surcharge									
Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	Load (kN)
1	0.6	0.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	0.4	1.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	1.0	13.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	0.0
4	0.5	12.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	0.0

5	0.5	12.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	0.0
6	1.0	25.7	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.6	0.0
7	0.3	7.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.2	0.0
8	0.2	5.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	0.0
9	0.5	12.5	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	0.0
10	1.0	32.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.8	0.0
11	1.0	40.7	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.0	0.0
12	1.0	47.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.2	0.0
13	0.9	51.9	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.3	0.0
14	0.9	55.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.4	0.0
15	0.9	57.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.4	0.0
16	0.9	57.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.4	0.0
17	0.8	56.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.4	0.0
18	0.8	52.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.3	0.0
19	0.0	1.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
20	0.8	46.2	0.0	0.0	0.	0.	0.0	1.2	0.0
21	0.1	3.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	0.0
22	0.7	31.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.8	17.7
23	0.7	23.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.6	18.2
24	0.7	12.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.3	17.1
25	0.5	2.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.1	12.4

*** GSTABL7 ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/02/2020
Time of Run: 05:49
Run By: Username
Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25c.in
Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25c.OUT
Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\mond25c.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Sezione 25 in rilevato
Verifica sismica

BOUNDARY COORDINATES

9 Top Boundaries
10 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	446.40	8.10	446.40	2
2	8.10	446.40	10.00	447.65	1
3	10.00	447.65	12.00	447.65	1
4	12.00	447.65	20.64	453.40	1
5	20.64	453.40	37.66	453.00	1
6	37.66	453.00	46.20	447.65	1
7	46.20	447.65	48.20	447.65	1
8	48.20	447.65	50.00	446.00	1
9	50.00	446.00	55.00	446.00	2
10	8.10	446.40	50.00	446.00	2

User Specified Y-Origin = 440.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Piez. Pressure Constant (kPa)	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	3.0	35.0	0.00	0.0	0
2	19.0	19.0	5.0	36.0	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points
Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	445.50
2	55.00	445.50

1

BOUNDARY LOAD(S)

1 Load(s) Specified

Load	X-Left	X-Right	Intensity	Deflection
------	--------	---------	-----------	------------

No.	(m)	(m)	(kPa)	(deg)
1	21.50	37.00	20.0	0.0

NOTE - Intensity Is Specified As A Uniformly Distributed Force Acting On A Horizontally Projected Surface.

Specified Peak Ground Acceleration Coefficient (A) = 0.050(g)
Specified Horizontal Earthquake Coefficient (kh) = 0.050(g)
Specified Vertical Earthquake Coefficient (kv) = 0.025(g)

Specified Seismic Pore-Pressure Factor = 0.000
1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

1000 Trial Surfaces Have Been Generated.

20 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 3.00(m) and X = 15.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 21.00(m) and X = 37.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 1000
Number of Trial Surfaces With Valid FS = 1000

Statistical Data On All Valid FS Values:
FS Max = 6.119 FS Min = 1.391 FS Ave = 2.672
Standard Deviation = 0.769 Coefficient of Variation = 28.79 %

Failure Surface Specified By 13 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	12.306	447.854
2	13.286	448.053
3	14.254	448.303

4	15.208	448.603
5	16.145	448.953
6	17.062	449.352
7	17.957	449.798
8	18.827	450.291
9	19.670	450.828
10	20.484	451.410
11	21.266	452.033
12	22.015	452.696
13	22.681	453.352

Circle Center At X = 9.009 ; Y = 466.619 ; and Radius = 19.053
Factor of Safety
*** 1.391 ***

Individual data on the 14 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	1.0	4.2	0.0	0.0	0.	0.	0.2	0.1	0.0
2	1.0	12.0	0.0	0.0	0.	0.	0.6	0.3	0.0
3	1.0	18.4	0.0	0.0	0.	0.	0.9	0.5	0.0
4	0.9	23.5	0.0	0.0	0.	0.	1.2	0.6	0.0
5	0.9	27.2	0.0	0.0	0.	0.	1.4	0.7	0.0
6	0.9	29.6	0.0	0.0	0.	0.	1.5	0.7	0.0
7	0.9	30.7	0.0	0.0	0.	0.	1.5	0.8	0.0
8	0.8	30.7	0.0	0.0	0.	0.	1.5	0.8	0.0
9	0.8	29.5	0.0	0.0	0.	0.	1.5	0.7	0.0
10	0.2	5.6	0.0	0.0	0.	0.	0.3	0.1	0.0
11	0.6	19.1	0.0	0.0	0.	0.	1.0	0.5	0.0
12	0.2	5.5	0.0	0.0	0.	0.	0.3	0.1	0.0
13	0.5	8.9	0.0	0.0	0.	0.	0.4	0.2	10.3
14	0.7	4.3	0.0	0.0	0.	0.	0.2	0.1	13.3

*** GSTABL7 ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 21/02/2020
 Time of Run: 03:53
 Run By: Username
 Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Borgato0.
 Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Borgato0.OUT
 Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Borgato0.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Rione Borgato Sezione ortogonale paratia
 Back analisys

BOUNDARY COORDINATES

9 Top Boundaries
 16 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	10.00	7.80	10.40	2
2	7.80	10.40	15.20	12.30	1
3	15.20	12.30	16.20	12.30	1
4	16.20	12.30	22.50	16.20	1
5	22.50	16.20	28.80	20.00	1
6	28.80	20.00	32.00	22.80	1
7	32.00	22.80	37.50	25.30	1
8	37.50	25.30	52.50	27.80	1
9	52.50	27.80	60.00	27.90	1
10	7.80	10.40	15.50	10.00	2
11	15.50	10.00	22.50	12.20	2
12	22.50	12.20	28.80	15.00	2
13	28.80	15.00	32.00	17.00	2
14	32.00	17.00	37.50	22.00	2
15	37.50	22.00	52.50	25.20	2
16	52.50	25.20	60.00	26.00	2

Default Y-Origin = 0.00(m)
 Default X-Plus Value = 0.00(m)
 Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m3)	Saturated Unit Wt. (kN/m3)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	5.0	30.0	0.00	0.0	1
2	20.5	20.5	50.0	32.0	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 8 Coordinate Points
Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	7.00	10.00
2	16.00	12.00
3	22.00	14.00
4	28.00	18.00
5	32.00	20.00
6	37.00	23.00
7	52.00	25.00
8	60.00	25.00

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 7.80(m) and X = 22.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 30.00(m) and X = 45.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 100

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 100

Statistical Data On All Valid FS Values:
FS Max = 3.009 FS Min = 1.016 FS Ave = 1.930
Standard Deviation = 0.456 Coefficient of Variation = 23.63 %

Failure Surface Specified By 33 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
-----------	------------	------------

1	12.533	11.615
2	13.532	11.556
3	14.531	11.532
4	15.531	11.546
5	16.530	11.596
6	17.526	11.683
7	18.519	11.806
8	19.506	11.965
9	20.487	12.160
10	21.459	12.391
11	22.423	12.658
12	23.377	12.960
13	24.318	13.296
14	25.247	13.667
15	26.162	14.071
16	27.061	14.509
17	27.943	14.979
18	28.808	15.482
19	29.654	16.015
20	30.479	16.579
21	31.284	17.174
22	32.066	17.797
23	32.825	18.448
24	33.559	19.127
25	34.268	19.832
26	34.951	20.563
27	35.606	21.318
28	36.234	22.097
29	36.832	22.898
30	37.401	23.720
31	37.939	24.563
32	38.446	25.425
33	38.465	25.461

Circle Center At X = 14.664 ; Y = 38.834 ; and Radius = 27.302

Factor of Safety
*** 1.016 ***

Individual data on the 43 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	1.0	3.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	0.4	3.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	0.6	5.6	0.0	0.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
4	0.7	8.6	0.0	1.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
5	0.3	4.8	0.0	1.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
6	0.5	6.6	0.0	1.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0

7	0.2	2.8	0.0	0.9	0.	0.	0.0	0.0	0.0
8	0.3	5.1	0.0	1.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
9	1.0	22.2	0.0	6.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
10	1.0	31.8	0.0	8.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
11	1.0	40.4	0.0	10.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
12	1.0	48.2	0.0	11.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0
13	1.0	55.1	0.0	12.9	0.	0.	0.0	0.0	0.0
14	0.5	33.5	0.0	7.5	0.	0.	0.0	0.0	0.0
15	0.4	27.5	0.0	5.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
16	0.1	5.1	0.0	1.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
17	0.9	60.7	0.0	13.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0
18	0.9	69.5	0.0	17.5	0.	0.	0.0	0.0	0.0
19	0.9	72.3	0.0	19.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
20	0.9	74.1	0.0	21.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
21	0.9	75.0	0.0	23.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
22	0.9	75.0	0.0	24.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
23	0.1	4.9	0.0	1.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
24	0.8	68.6	0.0	24.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
25	0.0	0.7	0.0	0.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
26	0.8	74.4	0.0	25.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
27	0.8	75.5	0.0	24.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
28	0.8	75.6	0.0	22.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
29	0.7	68.4	0.0	19.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
30	0.1	6.3	0.0	1.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
31	0.8	70.3	0.0	18.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
32	0.7	63.5	0.0	16.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
33	0.7	56.4	0.0	14.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
34	0.7	49.1	0.0	11.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
35	0.7	41.7	0.0	8.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
36	0.6	34.3	0.0	5.5	0.	0.	0.0	0.0	0.0
37	0.6	26.9	0.0	1.9	0.	0.	0.0	0.0	0.0
38	0.0	0.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
39	0.6	19.6	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
40	0.1	2.8	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
41	0.4	9.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
42	0.5	4.1	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0

*** GSTABL7 ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **

(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.

(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)

Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,

Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,

Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 30/04/2020
Time of Run: 08:38
Run By: Username
Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Accordo Quadro Anas NE\Mondovì\Produzione\GSStable\borgato1.
Output Filename: C:\Utn\Fresia\Accordo Quadro Anas NE\Mondovì\Produzione\GSStable\borgato1.OUT
Unit System: SI
Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Accordo Quadro Anas NE\Mondovì\Produzione\GSStable\borgato1.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Rione Borgato Sezione ortogonale paratia

Back analisys con riduzione falda

BOUNDARY COORDINATES

9 Top Boundaries

17 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	10.00	7.80	10.40	2
2	7.80	10.40	15.20	12.30	1
3	15.20	12.30	16.20	12.30	1
4	16.20	12.30	22.50	16.20	1
5	22.50	16.20	28.80	20.00	1
6	28.80	20.00	32.00	22.80	1
7	32.00	22.80	37.50	25.30	1
8	37.50	25.30	52.50	27.80	1
9	52.50	27.80	60.00	27.90	1
10	7.80	10.40	15.50	10.00	2
11	15.50	10.00	22.50	12.20	2
12	22.50	12.20	28.80	15.00	2
13	28.80	15.00	32.00	17.00	2
14	32.00	17.00	37.50	20.50	2
15	37.50	20.50	42.50	25.20	2
16	42.50	25.20	52.00	26.00	2
17	52.00	26.00	60.00	26.00	2

Default Y-Origin = 0.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	0.0	30.0	0.00	0.0	1
2	20.5	20.5	50.0	32.0	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 9 Coordinate Points

Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	7.00	10.00
2	16.00	12.00
3	22.00	12.00
4	28.00	15.00
5	32.00	17.00
6	37.00	20.00
7	42.00	24.50
8	52.00	26.00
9	60.00	26.00

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 7.80(m) and X = 15.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 32.00(m) and X = 45.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 100

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 100

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 2.911 FS Min = 1.002 FS Ave = 2.119

Standard Deviation = 0.528 Coefficient of Variation = 24.93 %

Failure Surface Specified By 26 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	11.800	11.427
2	12.792	11.552
3	13.780	11.709

4	14.761	11.900
5	15.736	12.124
6	16.703	12.380
7	17.660	12.668
8	18.608	12.988
9	19.544	13.340
10	20.468	13.722
11	21.378	14.136
12	22.274	14.579
13	23.155	15.053
14	24.020	15.556
15	24.867	16.087
16	25.696	16.646
17	26.505	17.233
18	27.295	17.847
19	28.064	18.486
20	28.810	19.152
21	29.535	19.841
22	30.235	20.555
23	30.911	21.291
24	31.563	22.050
25	32.188	22.830
26	32.251	22.914

Circle Center At X = 8.577 ; Y = 41.114 ; and Radius = 29.861
Factor of Safety
*** 1.002 ***

*** **GSTABL7** ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)
Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/10/2019

Time of Run: 05:54

Run By: Username

Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\MondovìE.

Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\MondovìE.OUT

Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\MondovìE.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Imbocco Est
Back analisys versante stato attuale

BOUNDARY COORDINATES

7 Top Boundaries
11 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	458.90	50.00	461.70	1
2	50.00	461.70	100.00	464.40	1
3	100.00	464.40	106.00	464.80	1
4	106.00	464.80	150.00	471.50	1
5	150.00	471.50	170.00	477.40	1
6	170.00	477.40	200.00	486.80	1
7	200.00	486.80	250.00	504.00	1
8	0.00	450.20	50.00	452.20	2
9	50.00	452.20	100.00	454.00	2
10	100.00	454.00	123.00	454.90	2
11	123.00	454.90	170.00	477.40	2

User Specified Y-Origin = 440.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant	Piez. Surface No.
1	19.0	19.0	0.0	19.0	0.00	0.0	1
2	20.5	20.5	25.0	30.0	0.00	0.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 8 Coordinate Points

Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	457.00
2	50.00	461.00
3	100.00	464.00

4	106.00	464.00
5	150.00	471.00
6	170.00	477.00
7	200.00	486.00
8	250.00	503.00
1		

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

500 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 100.00(m) and X = 145.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 150.00(m) and X = 160.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

1.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 500

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 500

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 3.357 FS Min = 1.028 FS Ave = 2.198
Standard Deviation = 0.717 Coefficient of Variation = 32.64 %

Failure Surface Specified By 18 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	144.082	470.599
2	145.058	470.381
3	146.045	470.220
4	147.039	470.115
5	148.038	470.068
6	149.038	470.077
7	150.036	470.143
8	151.028	470.266
9	152.012	470.446
10	152.984	470.681

11	153.941	470.972
12	154.879	471.317
13	155.797	471.714
14	156.690	472.164
15	157.556	472.663
16	158.393	473.211
17	159.196	473.806
18	159.952	474.436

Circle Center At X = 148.375 ; Y = 487.579 ; and Radius = 17.515

Factor of Safety
*** 1.028 ***

Individual data on the 20 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force		Surcharge Load (kN)
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	
1	1.0	3.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	0.5	4.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	0.5	5.4	0.0	0.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
4	1.0	15.2	0.0	2.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
5	1.0	19.6	0.0	5.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
6	1.0	22.9	0.0	6.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
7	1.0	24.1	0.0	7.6	0.	0.	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.9	0.0	0.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
9	1.0	27.4	0.0	9.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
10	1.0	29.8	0.0	10.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
11	1.0	30.9	0.0	11.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
12	1.0	30.8	0.0	11.4	0.	0.	0.0	0.0	0.0
13	0.9	29.5	0.0	11.1	0.	0.	0.0	0.0	0.0
14	0.9	27.2	0.0	10.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
15	0.9	23.8	0.0	8.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0
16	0.9	19.6	0.0	6.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0
17	0.8	14.5	0.0	4.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
18	0.7	8.1	0.0	1.2	0.	0.	0.0	0.0	0.0
19	0.1	0.9	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
20	0.8	2.9	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0

*** **GSTABL7** ***

** GSTABL7 by Garry H. Gregory, P.E. **

** Original Version 1.0, January 1996; Current Version 2.005, Sept. 2006 **
(All Rights Reserved-Unauthorized Use Prohibited)

SLOPE STABILITY ANALYSIS SYSTEM

Modified Bishop, Simplified Janbu, or GLE Method of Slices.
(Includes Spencer & Morgenstern-Price Type Analysis)

Including Pier/Pile, Reinforcement, Soil Nail, Tieback,
Nonlinear Undrained Shear Strength, Curved Phi Envelope,
Anisotropic Soil, Fiber-Reinforced Soil, Boundary Loads, Water
Surfaces, Pseudo-Static & Newmark Earthquake, and Applied Forces.

Analysis Run Date: 17/10/2019
Time of Run: 04:36
Run By: Username
Input Data Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Mondovi0.
Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Mondovi0.OUT
Unit System: SI

Plotted Output Filename: C:\Utn\Fresia\Svincoli CAS\Ali\Verifiche\Mondovi0.PLT

PROBLEM DESCRIPTION: Mondovì. Imbocco Ovest
Back analysis versante stato attuale

BOUNDARY COORDINATES

8 Top Boundaries

13 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (m)	Y-Left (m)	X-Right (m)	Y-Right (m)	Soil Type Below Bnd
1	0.00	439.20	50.00	441.40	1
2	50.00	441.40	70.50	442.60	1
3	70.50	442.60	100.00	446.80	1
4	100.00	446.80	135.00	453.50	1
5	135.00	453.50	150.00	455.60	1
6	150.00	455.60	200.00	460.50	1
7	200.00	460.50	300.00	472.40	1
8	300.00	472.40	350.00	478.70	1
9	0.00	434.40	50.00	436.90	2
10	50.00	436.90	100.00	440.50	2
11	100.00	440.50	150.00	445.00	2
12	150.00	445.00	200.00	449.40	2
13	200.00	449.40	350.00	468.70	2

User Specified Y-Origin = 420.00(m)

Default X-Plus Value = 0.00(m)

Default Y-Plus Value = 0.00(m)

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil No.	Total Unit Wt. (kN/m ³)	Saturated Unit Wt. (kN/m ³)	Cohesion Intercept (kPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (kPa)	Pressure Constant	Piez. Surface No.
----------	-------------------------------------	---	--------------------------	----------------------	----------------------------	-------------------	-------------------

1 19.0 19.0 0.0 19.0 0.00 0.0 1
2 20.5 20.5 25.0 30.0 0.00 0.0 1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.81(kN/m³)

Piezometric Surface No. 1 Specified by 9 Coordinate Points

Pore Pressure Inclination Factor = 0.50

Point No.	X-Water (m)	Y-Water (m)
1	0.00	439.00
2	50.00	441.20
3	70.00	442.40
4	100.00	446.60
5	135.00	453.30
6	150.00	455.40
7	200.00	460.30
8	300.00	472.20
9	350.00	478.50

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

500 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surface(s) Initiate(s) From Each Of 50 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 30.00(m) and X = 100.00(m)

Each Surface Terminates Between X = 135.00(m) and X = 300.00(m)

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = 0.00(m)

10.00(m) Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Evaluated. They Are Ordered - Most Critical First.

* * Safety Factors Are Calculated

Total Number of Trial Surfaces Attempted = 500

Number of Trial Surfaces With Valid FS = 500

Statistical Data On All Valid FS Values:

FS Max = 4.124 FS Min = 1.010 FS Ave = 3.064

Standard Deviation = 0.659 Coefficient of Variation = 21.49 %

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (m)	Y-Surf (m)
1	94.286	445.986
2	104.286	446.010
3	114.251	446.846
4	124.115	448.488
5	133.813	450.926
6	143.282	454.142
7	145.047	454.907

Circle Center At X = 98.990 ; Y = 568.977 ; and Radius = 123.081

Factor of Safety
*** 1.010 ***

Individual data on the 10 slices

Slice No.	Width (m)	Weight (kN)	Water Force		Tie Force		Earthquake Force Surcharge		
			Top (kN)	Bot (kN)	Norm (kN)	Tan (kN)	Hor (kN)	Ver (kN)	Load (kN)
1	1.4	2.4	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
2	4.4	41.0	0.0	12.7	0.	0.	0.0	0.0	0.0
3	4.3	98.1	0.0	41.5	0.	0.	0.0	0.0	0.0
4	10.0	406.3	0.0	187.5	0.	0.	0.0	0.0	0.0
5	9.9	525.7	0.0	251.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0
6	9.7	486.1	0.0	234.9	0.	0.	0.0	0.0	0.0
7	1.2	50.9	0.0	24.9	0.	0.	0.0	0.0	0.0
8	8.3	211.5	0.0	97.3	0.	0.	0.0	0.0	0.0
9	1.1	7.4	0.0	1.8	0.	0.	0.0	0.0	0.0
10	0.7	1.3	0.0	0.0	0.	0.	0.0	0.0	0.0