

**SGC Grosseto Fano (E78).
Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) - Selci Lama (E45).
Adeguamento a 4 corsie del tratto Le Ville - Selci Lama (E45).
Lotto 7.**

PROGETTO DEFINITIVO

PG 364

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p>PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Ing. ANTONIO SIGNORELLI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111 settore Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) GP INGENGERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGENGERIA srl</i> (Mandante)  (Mandante) engeko (Mandante)  <i>Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</i></p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p>	
<p>L'ARCHEOLOGO <i>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</i> Elenco MIBACT n. 1646</p>	<p><i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Michele Consumini</i></p>	<p><i>Ing. Giovanni Suraci</i> Ordine Ingegneri Provincia di RC n. A2895</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12): <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	

OPERE D'ARTE MAGGIORI
Gallerie naturali – Elaborati Generali
Relazione geotecnica delle opere in sottterraneo
Galleria Citerna

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
COMP.	PROGETTO	LIV.	ANNO	N.PROG.	
DP	LO702G	D2110			
CODICE ELAB.		T O O G N O O O S T R E O 4		A	-
D					
C					
B					
A	Emissione	Marzo '24	M.Martelli	A. Signorelli	G. Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	3
3. ANALISI CAMPAGNE GEOGNOSTICHE	7
3.1. CAMPAGNA INDAGINI PROGETTO DEFINITIVO	8
3.1.1. Misure piezometriche.....	9
3.2. CAMPAGNA INDAGINI PROGETTO PRELIMINARE (2010-11)	10
3.2.1. Misure piezometriche.....	10
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA	11
4.1. ZONIZZAZIONE GEOMECCANICA: CRITERI UTILIZZATI	11
4.2. MODELLO GEOMECCANICO	12
4.2.1. Parametri di resistenza	12
4.2.2. Parametri di deformabilità	19
5. CONCLUSIONI.....	25

1. PREMESSA

Nella presente Relazione viene descritto il “percorso progettuale” che ha portato all’identificazione delle classi geotecniche e geomeccaniche a comportamento omogeneo, nelle aree interessate dal Progetto Definitivo denominato “SGC Grosseto Fano (E78). Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) – Selci Lama (E45), Adeguamento A 4 Corsie Del Tratto Le Ville - Selci Lama (E45), Lotto 7”.

Sono state analizzate in prima fase la quantità e la rappresentatività dei dati in ingresso e successivamente l’interpretazione di tali dati che costituisce il processo fondamentale per la determinazione delle classi di comportamento” meccanicamente omogeneo” per le varie tratte di scavo della galleria naturale “Citerna”. La galleria in oggetto sarà scavata in contesti terrosi ricadenti nel campo della meccanica delle terre.

A tal fine, sono stati considerati tutti i sondaggi che interessano la tratta della galleria naturale. I dati così ottenuti sono stati trattati poi in maniera analitica e statistica, ottenendo quindi per ogni litotipo, un range di variabilità dei parametri geotecnici.

PROGETTAZIONE ATI:

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Di seguito si riporta una sintesi degli aspetti di Geologia per le formazioni che interessano lo scavo della Galleria Naturale "Citerna". Questi aspetti risultano necessari per comprendere la genesi e le motivazioni dello stato di variabilità del materiale oggetto della parametrizzazione geotecnica. Per una più completa definizione a livello Geologico si rimanda alla Relazione Geologica allegata al progetto (Codice elaborato *T00GE02GEORE01*).

SINTEMA DI FIGHILLE (sigla in carta: FHL)

È costituito essenzialmente da argille limose di colore grigio e, intercalati strati sabbiosi o sabbioso-limosi che si presentano in certi casi laminate e con livelli e/o lenti carboniosi. Nella parte alta sono frequenti lenti di ghiaie e di conglomerati poligenici.

Esse poggiano sulle unità pre-continentali mioceniche e costituiscono i bordi del bacino di sedimentazione. Il letto stratigrafico del Sintema di Fighille, al centro del bacino di sedimentazione, da dati bibliografici raggiunge i 200 m (BARCHI et al., 1999). Il contatto con il soprastante Sintema di Citerna è costituito da una superficie di inconformità.

L'ambiente di sedimentazione sembra essere prevalentemente lacustre, a bassa energia, ma, verso l'alto, la maggior granulometria dei depositi e la presenza di marcate embriature sembrano indicare un passaggio ad un ambiente fluvio-lacustre.

Nella campagna indagini per il Progetto Definitivo i sondaggi che hanno intercettato le argille del Sintema di Fighille sono stati il BH15, BH16, BH17, BH20 e BH21.

In sondaggio le argille di Fighille affiorano come argille che nelle caratteristiche generali di colorazione, umidità consistenza e granulometria risultano omogenee anche a distanza notevole dei punti di prelievo. Sono ascrivibili a argille debolmente limose di colore grigio da consistenti a dure, con intercalazioni di livelli di sabbie fini e livelli intercalati di sabbie fini.



Tabella 2.1 – Cassette con carotaggi del sondaggio BH15



Tabella 2.2 – Cassette con carotaggi del sondaggio BH16



Tabella 2.3 – Cassette con carotaggi dei sondaggi BH20 e BH21

SINTEMA DI CITERNA - SUBSISTEMA DI MONTE ROTONDO - (sigla in carta: CTA2)

Il Sintema di Citerna, caratterizzato essenzialmente da ruditi poligeniche; esso affiora ed è presente a costituire la dorsale di Citerna (poco meno di 500 m s.l.m.).

Questo Sintema è suddiviso in due sub-sintemi; quello inferiore (Subsistema di Molin dell'Olio - CTA1) è prevalentemente sabbioso; quello superiore (Subsistema di Monte Rotondo - CTA2) è clastico-grossolano. (Pleistocene inferiore).

Si tratta di depositi composti da ciottoli poligenici di dimensioni anche decimetriche, cementati, immersi in matrice sabbiosa. La natura dei clasti ed i caratteri di questi litotipi variano da luogo a luogo, in funzione del progressivo allontanarsi dalle zone di alimentazione, della distanza dagli appoggi e degli apporti trasversali.

Il Subsistema di Monte Rotondo poggia sia sul Subsistema di Molin dell'Olio sia sul Sintema di Fighille, mentre verso l'alto passa al Sintema di Monterchi.

Questa unità è stata intercettata nei sondaggi S1 e S2 della campagna indagini del 2004, hanno intercettato questi terreni con spessori massimi di circa 60m in S1. I prodotti di carotaggio descrivono queste litologie come ghiaia eterometrica, poligeniche, in matrice sabbiosa e limo-argillosa, marrone-rossiccia, Sono presenti inoltre livelli di limi con argilla, debolmente sabbiosi nocciola.

PROGETTAZIONE ATI:



Tabella 2.4 – Affioramenti dei litotipi del sistema di Citerna – Subsistema di M. Rotondo (CTA2)



Tabella 2.5 – Litotipi del sistema di Citerna – Subsistema di M. Rotondo (CTA2) – nei sondaggi BH11 e BH13

PROGETTAZIONE ATI:

SINTEMA DI MONTERCHI - SUBSINTEMA DI MERCATALE (sigla in carta: MCT1)

Il deposito è costituito generalmente da conglomerati composti da ciottoli e clasti (localmente pluridecimetri) di natura, quasi esclusivamente, arenacea. La matrice è sabbiosa, con locali lenti e livelli sabbioso-limosi. Questi litotipi affiorano nella parte occidentale del tracciato, a SW di Citerna; appoggiano in disconformità sul Sintema di Citerna, oltre che su varie unità del substrato flyschoidale. L'ambiente deposizionale è probabilmente fluviale. (eta: Plesitocene).

Questi litotipi intercettano le opere in progetto tra le progressive 4+700 e 5+200 circa. In superficie essi rappresentano l'ossatura della collina di loc. Cappuccini (circa 400 m s.l.m.).

Nelle perforazioni eseguite in occasione del Progetto Preliminare, questi depositi sono stati intercettati nei sondaggi S5 e S6 per tutta la profondità degli stessi, ovvero rispettivamente 40 e 75m. Il sondaggio S6 (eseguito a distruzione di nucleo fino a -45.00m) ha evidenziato una sequenza omogenea con netta prevalenza di ciottoli e ghiaie con clasti in prevalenza arenacei, immersi in matrice sabbiosa solo a tratti cementata. Solo nella parte terminale del foro sono state rivenute sabbie. Il sondaggio S5 ha evidenziato una sequenza molto più disomogenea rispetto a S6 con prevalenza di livelli conglomeratici ma con significativa presenza di livelli sabbiosi e limoso-argillosi che si alternano ai depositi più grossolani.

In affioramento appaiono, vedi immagini sotto, come conglomerati composti da clasti arenacei centimetrici e decimetrici, arrotondati, immersi in matrice sabbiosa.



Tabella 2.6 – Affioramenti dei conglomerati del sintema di Monterchi

3. ANALISI CAMPAGNE GEOGNOSTICHE

Nelle relazioni relative agli studi e indagini geologiche e geotecniche sono allegati tutti i risultati delle indagini eseguite.

Si riporta di seguito uno stralcio della planimetria indagini per la Galleria in oggetto.



Figura 3-1 – Stralcio planimetria indagini: imbocco Ovest

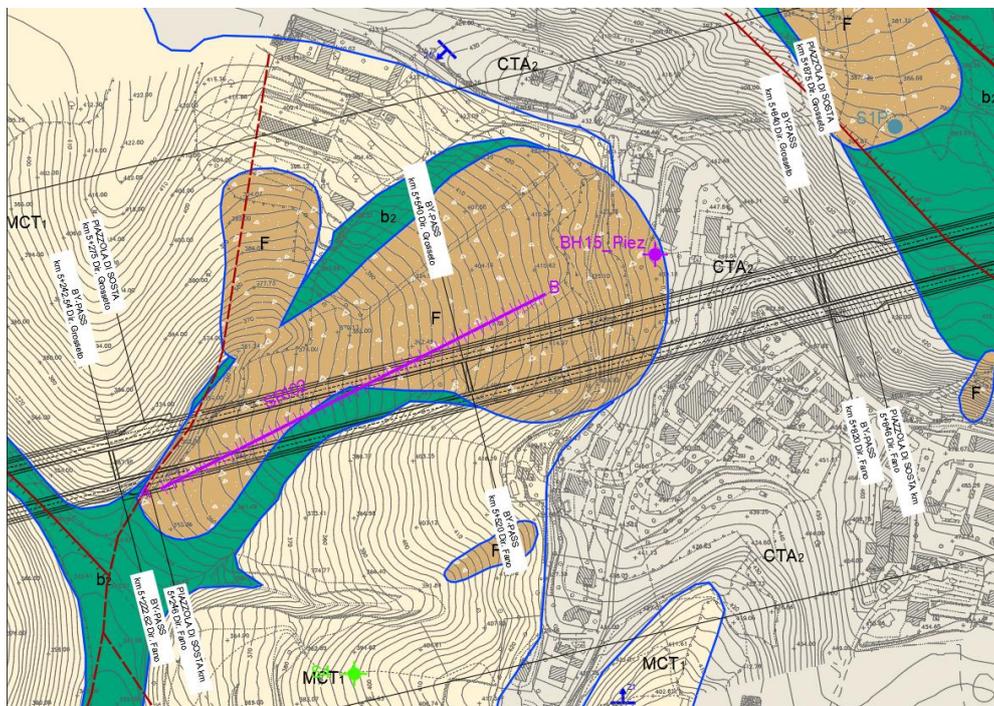


Figura 3-2 – Stralcio planimetria indagini: tratto centrale

PROGETTAZIONE ATI:

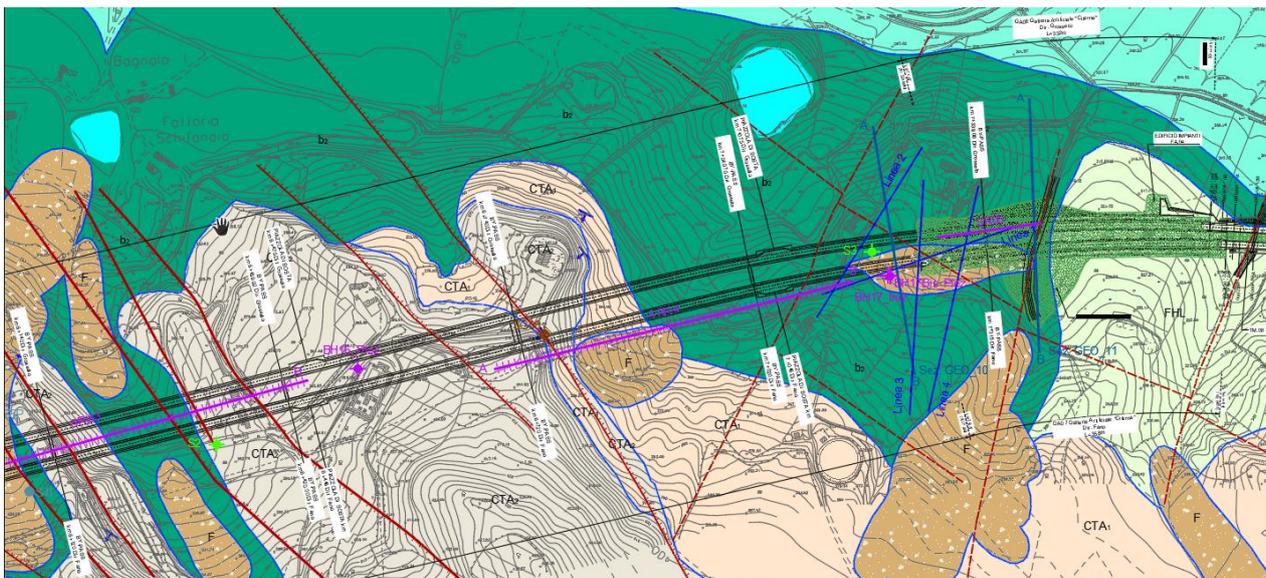


Figura 3-3 – Stralcio planimetria indagini: Imbocco est

3.1. CAMPAGNA INDAGINI PROGETTO DEFINITIVO

Le più recenti campagne di indagine eseguite ai fini della caratterizzazione dei materiali interessati dallo scavo della galleria “Citerna” sono state eseguite nel periodo tra gennaio e maggio 2022 (eseguite da *CAM PERFORAZIONI S.r.l.u.* di Pesaro). Durante questa campagna di indagine sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo le cui profondità indagate variano da 15 m a 120 m. All’interno dei fori sono state effettuate prove SPT (*Standard Penetration Test*) che hanno interessato profondità massime fino a 45 m. Al fine di rilevare la profondità della superficie piezometrica, n. 4 sondaggi sono stati strumentati con piezometri, di cui n. 1 piezometro a tubo aperto (Ø2”) e n. 3 piezometri Casagrande. Per il monitoraggio degli spostamenti a componente orizzontale del terreno, n. 1 sondaggio è stato strumentato con inclinometro. Per la determinazione del comportamento dinamico dei terreni alcuni sondaggi sono stati strumentati con tubo in PVC (Ø3”) per l’esecuzione di prove sismiche di tipo DH (*Down-hole*).

A seguito dei sondaggi geognostici, al fine di definire il modello sismo-stratigrafico dell’area mediante l’individuazione della profondità del *bedrock* sismico e la discretizzazione della velocità delle onde di taglio per la definizione del parametro $V_{s,eq}$ (NTC2018), sono state eseguite a cura della ditta *GEOFISICA MISURE S.n.c* di Cosenza, prove sismiche di tipo DH (*Down-hole*), indagini sismiche di tipo MASW (*Multi-Channel Analysis of Surface Waves*) e indagini sismiche a rifrazione SRT (*Sismic Refraction Tomography*).

A queste sono state integrate alcune indagini geofisiche e geoelettriche (eseguite da *GEOSERVING S.r.l.* di Frosinone). La finalità di questa campagna è stata quella di raccogliere informazioni in aree, al momento non accessibili da macchine perforatrici (imbocco Ovest della galleria “Citerna”), nei tratti dei corpi galleria e in corrispondenza di lineamenti tettonici censiti nel catalogo ITHACA. In particolare sono state eseguite n. 4 indagini sismiche a rifrazione in onde P e SH, n. 4 indagini sismiche geoelettriche in modalità ERT e n. 4 indagini sismiche “ibride” a riflessione e rifrazione in onde P.

Nella Tabella 3-1 si riporta una sintesi dei sondaggi eseguiti e presi in considerazione per la caratterizzazione geotecnica. La posizione dei sondaggi è indicata nella Planimetria ubicazione indagini in sito (*T00GE01GEOPU01-07*).

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 3-1 Quadro di riferimento delle indagini eseguite (sondaggi geognostici)

Sondaggio	Tipologia	Quota (m s.l.m.)	Lunghezza (m)
BH11	cc	339,73	35,0
BH13	cc	323,29	35,0
BH15	dn / cc	339,73	120,0
BH16	dn / cc	394,12	80,0
BH17	cc	337,53	25,0
BH32	cc	285,25	40,0

LEGENDA

Tipologia: cc = carotaggio continuo; dn = distruzione di nucleo;

3.1.1. MISURE PIEZOMETRICHE

Durante la campagna di indagini 2022-24 sono stati installati piezometri a tubo aperto e piezometri di Casagrande.

Nella Tabella 3-2 si riportano i livelli di falda rilevati durante le diverse misurazioni.

Tabella 3-2 Esito delle misure piezometriche

Sondaggio	Tipologia piezometro	gen-22	feb-22	mar-22	apr-22	mag-22	giu-22
		Livelli di falda rilevati (m da p.c.)					
BH13	Tubo aperto		6,80			7,10	
BH15	Casagrande (cella1)					a	a
	Casagrande (cella2)					a	a
BH16	Casagrande (cella1)					9,75	10,12
	Casagrande (cella2)					10,15	10,80
BH17bis	Casagrande (cella1)						
	Casagrande (cella2)		10,40				

LEGENDA

a = falda assente

3.2. CAMPAGNA INDAGINI PROGETTO PRELIMINARE (2010-11)

Tra dicembre 2010 ed aprile 2011, nell'ambito del progetto preliminare "E78 S.G.C. Grosseto-Fano – Tratto Tosco-Umbro, Le Ville di Monterchi – Parnacciano", è stata realizzata una campagna di indagini così articolata:

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo con prelievo di campioni ed esecuzione di prove in sito, attrezzati con piezometri o con tubi per la realizzazione di prove sismiche in foro;
- Indagini geofisiche inclusive sia di stendimenti sismici di superficie, sia di prove in foro tipo DH (*Down-hole*);
- Monitoraggio dei livelli piezometrici.

L'intera campagna in questione si estende su più lotti limitrofi, di conseguenza, per lo studio del progetto in esame sono stati utilizzati solamente i sondaggi presenti nel corridoio in oggetto.

Tabella 3-3 Quadro di riferimento delle indagini eseguite (sondaggi geognostici)

Sondaggio	Tipologia	Quota (m s.l.m.)	Lunghezza (m)
S03	cc	373,15	40,0
S04	cc	319,01	30,0
S05	cc	333,81	40,0
S05bis	dn	333,81	40,0
S06	dn / cc	389,57	75,0

LEGENDA

Tipologia: cc = carotaggio continuo; dn = distruzione di nucleo;

3.2.1. MISURE PIEZOMETRICHE

Durante la campagna di indagini 2022-24 sono stati installati piezometri a tubo aperto e piezometri di Casagrande.

Nella Tabella 3-2 si riportano i livelli di falda rilevati durante le diverse misurazioni.

Tabella 3-4 Esito delle misure piezometriche

Sondaggio	Tipologia piezometro	gen-11	feb-11	mar-11	apr-11	mag-11	giu-11	lug-11
		Livelli di falda rilevati (m da p.c.)						
S04	Tubo aperto		2.28					1.98
S05	Tubo aperto		13.64					13.18
S06	Casagrande (cella1)							49.96

4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

La caratterizzazione geomeccanica si è prefissata di individuare lungo il tracciato scelto e coerentemente con il modello geologico - strutturale:

- le zone geotecnicamente omogenee interessate dallo scavo;
- il modello geotecnico della roccia/terreno associato a tali zone che sarà utilizzato nei calcoli di progetto;
- i parametri geotecnici, in funzione del modello adottato, da impiegare nelle analisi.

4.1. ZONIZZAZIONE GEOMECCANICA: CRITERI UTILIZZATI

Dal modello geologico proposto è possibile individuare delle zone litologicamente omogenee; una prima elementare parzializzazione del tracciato in tratte omogenee si basa sul criterio di individuazione delle variazioni litologiche.

Una volta effettuata tale “zonizzazione orizzontale”, per la quale si rimanda agli appositi elaborati progettuali (Relazione Geologica, Profili Geologici e Geomeccanici), ad ogni unità litologica sono state associate le relative indagini e prove. L’analisi e l’elaborazione di queste ha permesso una parametrizzazione che tenesse conto degli stati tensionali in gioco e quindi delle coperture previste, consentendo quindi anche una “zonizzazione geotecnica verticale”.

Per quanto concerne specificatamente le terre è stato possibile effettuare una zonizzazione individuando per tutte le tratte, le diverse “qualità” del materiale presente: tali differenze sono imputabili a cambiamenti delle caratteristiche geologiche, dovute a fenomeni di tettonizzazione che determinano la presenza di fasce destrutturate.

Tali cambiamenti lungo il tracciato sono dipesi in generale dall’individuazione di cause locali (es: presenza di destrutturate, di transizione, ...) e generali (es: variazioni delle coperture sulla galleria litofacies prevalente). Tale variabilità, di qualità, è stata localmente testata attraverso lo studio delle indagini realizzate.

4.2. MODELLO GEOMECCANICO

4.2.1. PARAMETRI DI RESISTENZA

4.2.1.1. Unità geotecnica UG1 (FHL)

L'unità geotecnica UG1 è composta dal Sintema delle Fighille (FHL).

La formazione coinvolge gli scavi con coperture che vanno da circa 17 ai 133m, nonché l'imbocco Est della galleria Citerna. Si tratta di argille limose con intercalati livelli e strati sabbiosi o sabbioso-limosi. Verso l'alto sono frequenti livelli e/o lenti di ghiaie e di conglomerati poligenici, con prevalenza di ciottoli arenacei centimetrici ed appiattiti. L'unità risulta da poco plastica a plastica, da consistente a molto consistente.

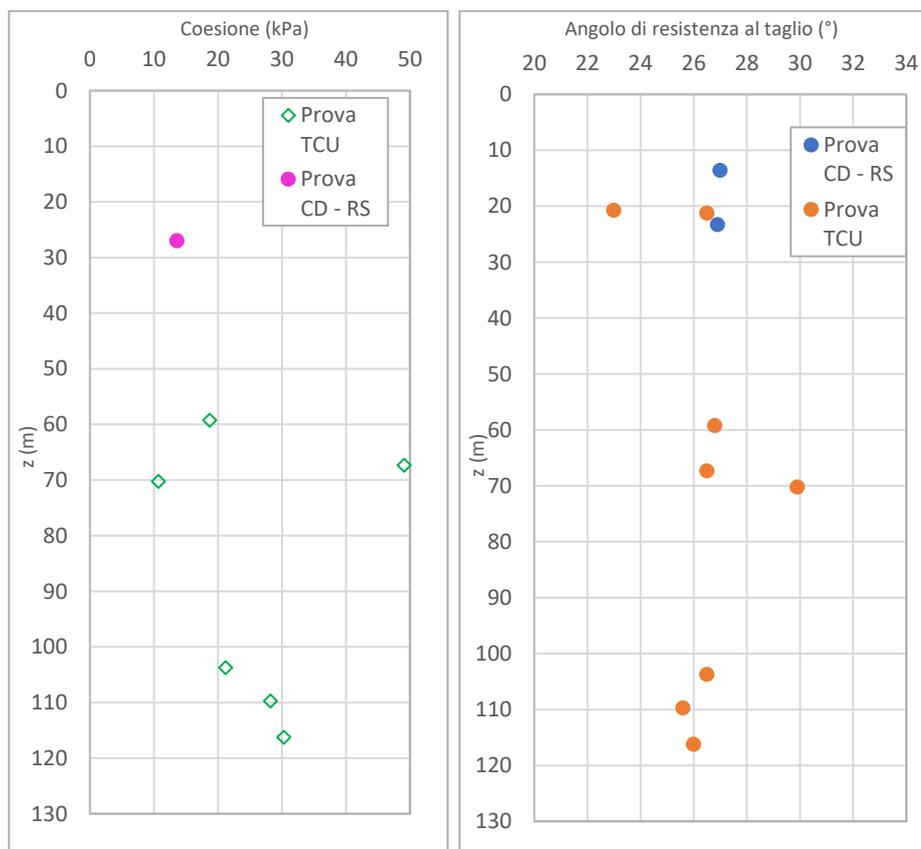
Ai fini della caratterizzazione della formazione interessata dallo scavo è stato fatto riferimento ai seguenti sondaggi:

- BH15_Pz (2022)
- S2 (2004)
- BH16_Pz (2022)
- BH17_In (2022)
- S3 (2004).

Per la stima dei parametri caratteristici sono stati presi in considerazione i risultati delle prove di laboratorio (n.1 prova di TD, n.6 prove TCU) riportati di seguito:

Sondaggio Campione	Profondità campione	Prova Taglio		Prova TCU	
		c'	φ	c'	φ
-	z				
-	m	Kpa	°	Kpa	°
BH15-Cr1	103.75			21	27
BH15-Cr2	109.75			28	26
BH15-Cr3	116.25			30	26
BH16-Cr1	59.25			19	27
BH16-Cr2	67.35			49	27
BH16-Cr3	70.25			11	30
BH17-Cr1	17.85	14	27		
BH17-Sh3	20.75			12	23

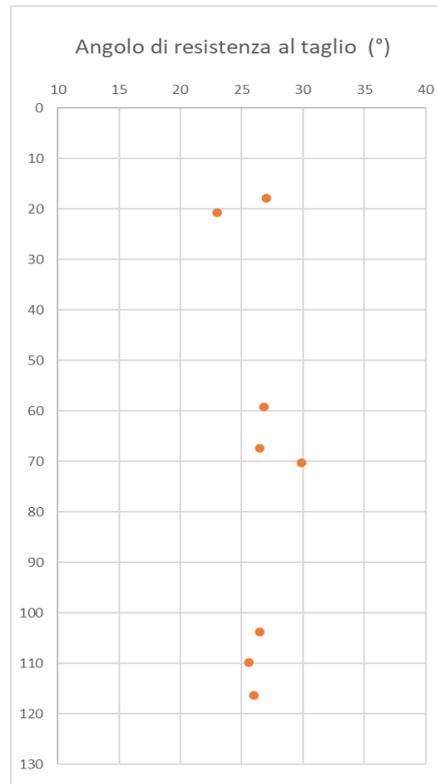
PROGETTAZIONE ATI:



Data la notevole variabilità del materiale presente lungo il sondaggio BH16, ai fini della definizione dell'intervallo di variazione dei parametri c' e ϕ' , è stato ritenuto opportuno escludere le prove eseguite sui campioni CR2 e CR3. Questi infatti, nonostante la poca differenza di profondità di estrazione dei singoli campioni (rispettivamente 67m e 70m), hanno riscontrato notevoli variazioni in termini di coesione efficace e angolo di attrito efficace.

Si riportano di seguito i risultati delle prove di laboratorio eseguite nella formazione interessata dallo scavo, in termini di angolo di resistenza al taglio efficace.

PROGETTAZIONE ATI:



Si nota che i valori ottenuti dalle prove seguono un andamento circa costante con la profondità, con valore massimo pari a 30° e un valore minimo di 23°. Pertanto si definisce un range di valori costante con la profondità.

Nella Figura 4-1 sono rappresentati i valori di coesione ottenuti dalle prove di laboratorio eseguite lungo i sondaggi indagati. Si nota come i dati ottenuti tendono a aumentare con la profondità, pertanto, per la stima della coesione efficace è stata adottata una legge di interpolazione lineare crescente con la profondità.

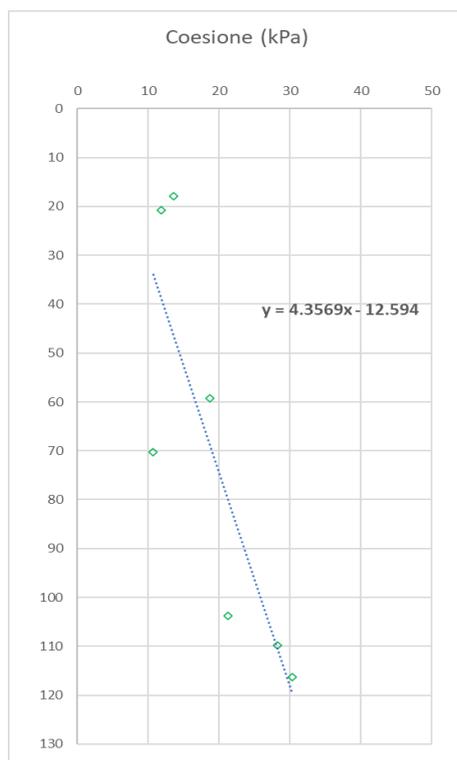


Figura 4-1 Coesione efficace: legge di interpolazione lineare.

Il range di variazione dei parametri caratteristici per l'UG1 è definito come segue:

- $C' \text{ [kPa]} = (z + 12.594) / 4.3569$
- $\phi' [^\circ] = 26 - 28$

Per la caratterizzazione delle zone con presenza di materiale destrutturato, in assenza di dati specifici, e per tener conto della diminuzione delle caratteristiche geotecniche, si è scelto di ridurre di 1/3 i valori di coesione efficace c' e angolo di attrito efficace ϕ' , dei valori dei parametri dell'unità geotecnica competente.

Il set dei parametri caratteristici per l'UG1_d è definito come:

- $C' \text{ [kPa]} = 0 - 12$
- $\phi' [^\circ] = 18 - 20$

4.2.1.2. Unità geotecnica UG2 (CTA2)

La formazione coinvolge gli scavi in corrispondenza dell'imbocco ovest e per alcuni tratti lungo lo sviluppo della galleria.

L'unità è costituita dal Sintema di Citerna che, in corrispondenza dei tratti interessati dallo scavo, costituisce il subsintema di Monte Rotondo (CTA₂), di natura clastica e sabbiosa grossolana. Si tratta

complessivamente di ciottoli poligenici di dimensioni anche decimetriche, cementati, immersi in una matrice sabbiosa.

Ai fini della caratterizzazione della formazione interessata dallo scavo è stato fatto riferimento ai seguenti sondaggi:

- BH11_Pz (2022)
- BH13_Pz (2022)
- S4 (2004).

All'interno dell'unità sono stati prelevati n. 3 campioni rimaneggiati e sono state eseguite n. 9 prove SPT di cui 2 hanno raggiunto il rifiuto strumentale nel tratto di avviamento e 4 nei tratti successivi.

Per la stima dei parametri caratteristici di coesione efficace c' e angolo di attrito efficace φ' sono stati presi in considerazione i risultati delle prove di laboratorio (n.1 prova di TD) e le stime dell'angolo di resistenza al taglio ricavate dall'interpretazione delle prove SPT riportati di seguito:

Sondaggio Campione	Profondità campione	Prova Taglio	
		c'	φ
-	z	c'	φ
-	m	Kpa	°
BH13-Cr1	14	0	34

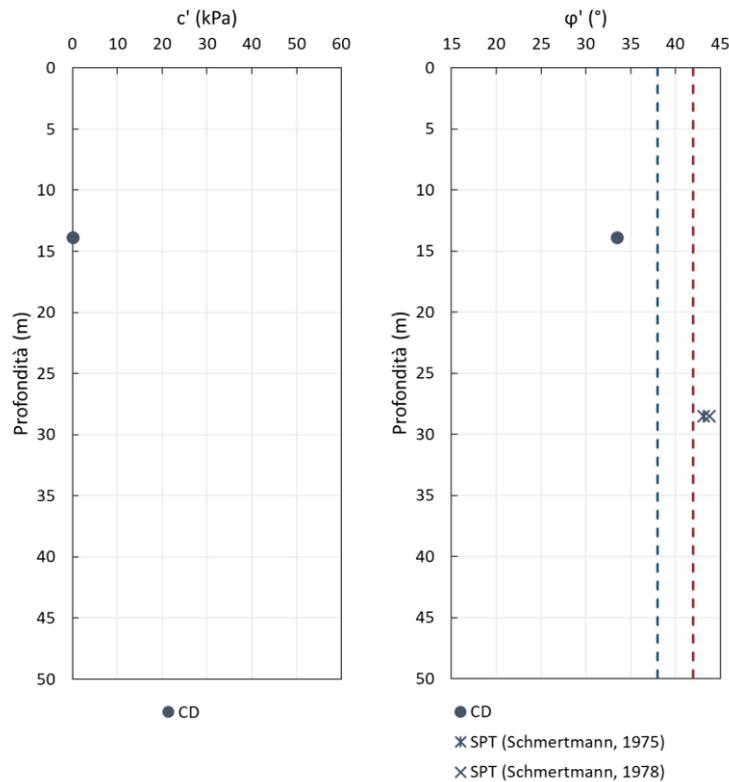


Figura 4-2 Parametri di resistenza al taglio (UG2)

Il range di variazione dei parametri caratteristici per l'UG2 è definito come segue:

- $C' \text{ [KPa]} = 0$
- $\phi' [^\circ] = 38 - 42$

Il set dei parametri caratteristici per l'UG2_d è definito come:

- $C' \text{ [KPa]} = 0$
- $\phi' [^\circ] = 27 - 29$

4.2.1.3. Unità geotecnica UG3 (MTC1)

L'unità geotecnica in esame è distribuita principalmente sul tratto iniziale della galleria a partire dall'imbocco.

L'unità UG3 è costituita dal Sintema di Monterchi (MTC₁). Si tratta complessivamente di conglomerati con ciottoli e blocchi di natura arenacea, in matrice sabbiosa, alternati a lenti e livelli sabbiosi, a tratti cementati.

Ai fini della caratterizzazione della formazione interessata dallo scavo è stato fatto riferimento ai seguenti sondaggi:

PROGETTAZIONE ATI:

- S05_Pz (2004);
- S05bis_Dh (2004);
- S06_Pz (2004).

All'interno dell'unità geotecnica UG3 sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati e sono state eseguite n. 4 prove SPT.

Di seguito si riportano i risultati dell'interpretazione delle prove in sito in termini di angolo di attrito efficace ϕ' .

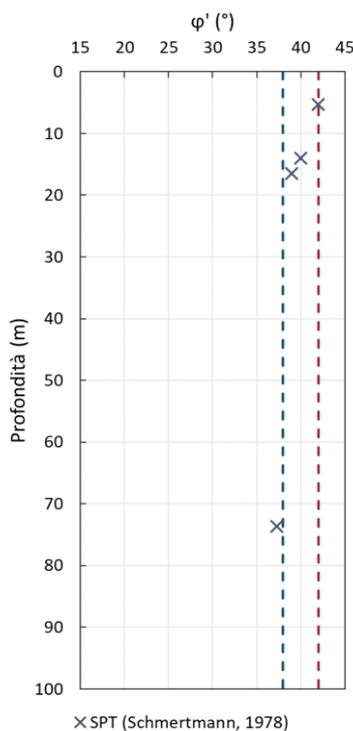


Figura 4-3 Parametri di resistenza al taglio (UG3).

Il range di variazione dei parametri caratteristici per l'UG2 è definito come segue:

- $C' \text{ [KPa]} = 0$
- $\phi' [^\circ] = 38 - 42$

Per la caratterizzazione delle zone con presenza di materiale destrutturato, in assenza di dati specifici, e per tener conto della diminuzione delle caratteristiche geotecniche, si è scelto di ridurre di 1/3 i valori di coesione efficace c' e angolo di attrito efficace ϕ' , dei valori dei parametri dell'unità geotecnica competente.

Il set dei parametri caratteristici per l'UG3_d è definito come:

- $C' \text{ [KPa]} = 0$
- $\phi' [^\circ] = 27 - 29$

PROGETTAZIONE ATI:

4.2.2. PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ

4.2.2.1. Unità geotecnica UG1 (FHL)

Per la stima dei parametri di deformabilità si è fatto riferimento alle seguenti indagini:

- stendimento sismico ibrido a rifrazione SRI04;
- stendimento sismico a rifrazione SR05;
- stendimenti sismici a rifrazione Linea1,2,3,4;
- 3 prove DH eseguite sui sondaggi BH27(z>30m [FHL]) - BH30(z>18m [FHL]) - BH32(z>10m [FHL]).

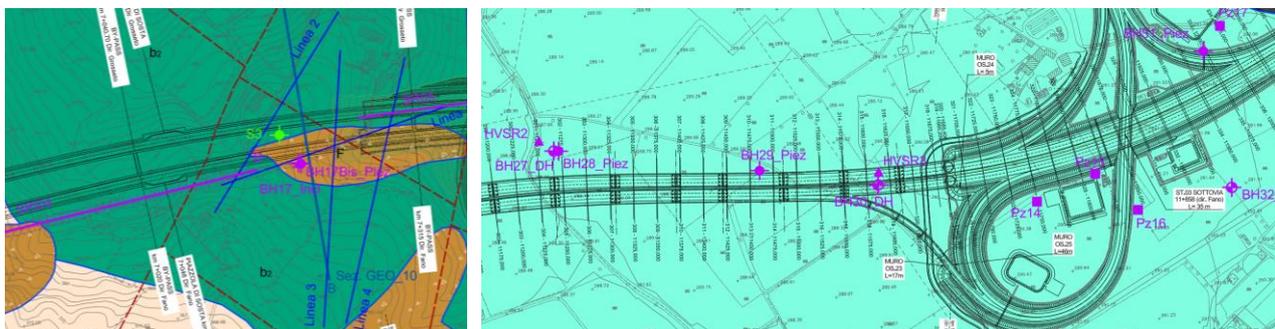
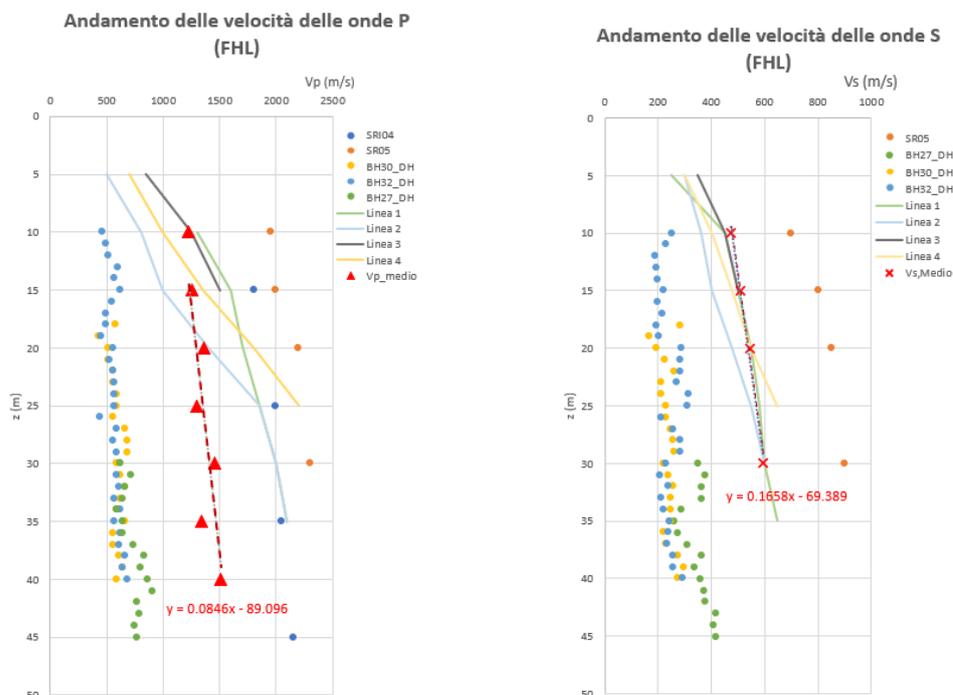


Figura 4: Planimetria ubicazioni indagini

Di seguito si riportano gli andamenti delle velocità delle onde di taglio Vs e delle onde di compressione Vp delle prove sopra elencate.



PROGETTAZIONE ATI:

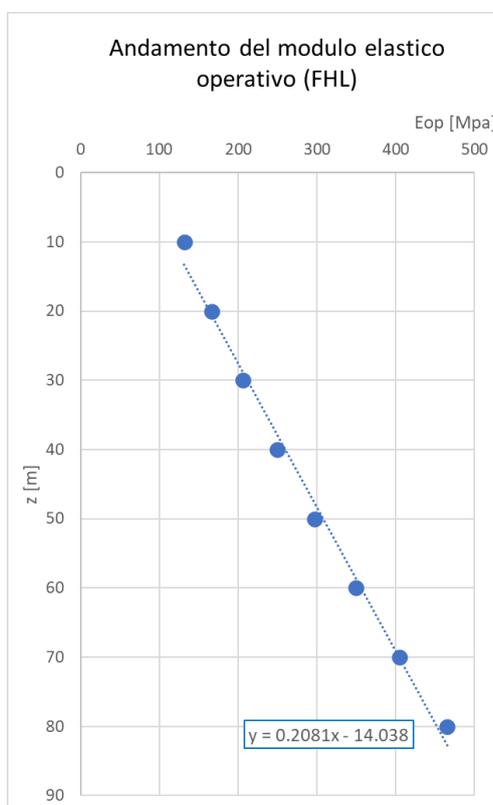
Dalle analisi effettuate con varie metodologie di indagine emerge un risultato significativo: le velocità delle onde rilevate tramite le indagini a rifrazione, specialmente nel caso di SRI04 e SR05, sono approssimativamente triplicate rispetto a quelle rilevate tramite le indagini Down Hole. Inoltre, i risultati degli stendimenti sismici a rifrazione (Linee 1, 2, 3 e 4) sembrano supportare questa osservazione, mostrando una coerenza nei valori di velocità V_p rispetto alle SR05/SRI04. Tuttavia, per quanto riguarda le velocità V_s , si osserva un posizionamento intermedio tra i dati ottenuti dalle indagini Down Hole e quelli delle SRI04/SR05.

Tale differenza potrebbe essere correlata all'ubicazione dei sondaggi BH27-30-32, situati in una zona di fondo valle che potrebbe aver subito nel tempo fenomeni di scollamento dovuti a movimenti tettonici. Tuttavia, i risultati degli stendimenti sismici a rifrazione sembrano suggerire qualche incertezza che richiede una maggiore cautela nell'interpretazione.

Considerata la sostanziale differenza, per la valutazione dell'andamento del modulo elastico, si è scelto quindi di adottare una soluzione cautelativa prendendo in considerazione una media delle velocità delle onde di taglio V_s tra i valori estremi registrati dalle prove (DH-SR05).

Questa decisione è stata presa per valutare l'andamento del modulo elastico in modo precauzionale, al fine di mitigare eventuali variazioni anomale nei dati raccolti durante le prove. È fondamentale notare che questa metodologia si accorda con i risultati ottenuti dalle linee 1, 2, 3 e 4, aumentando così l'affidabilità e la validità dell'intero processo di valutazione.

Di seguito si riporta l'andamento del modulo elastico operativo (E_{op}) con la profondità, valutato a partire dalle velocità delle onde di taglio V_s definite in precedenza e adottando un coeff. di riduzione del modulo elastico a piccole deformazioni pari a 1/10.



PROGETTAZIONE ATI:

Nelle zone in cui è previsto l'attraversamento di un materiale destrutturato e in prossimità di faglie, il modulo elastico è valutato riducendo di 1/3 i risultati precedentemente ottenuti. Questo approccio mira a tener conto delle variazioni locali delle proprietà dei materiali, assicurando una valutazione più accurata delle condizioni ambientali e geologiche specifiche di tali aree.

4.2.2.1. Unità geotecnica UG2 (CTA2)

Per la stima dei parametri di deformabilità si è fatto riferimento alle seguenti indagini:

- tomografia sismica (TOMO 2);
- prova DH eseguite sul sondaggio BH11.

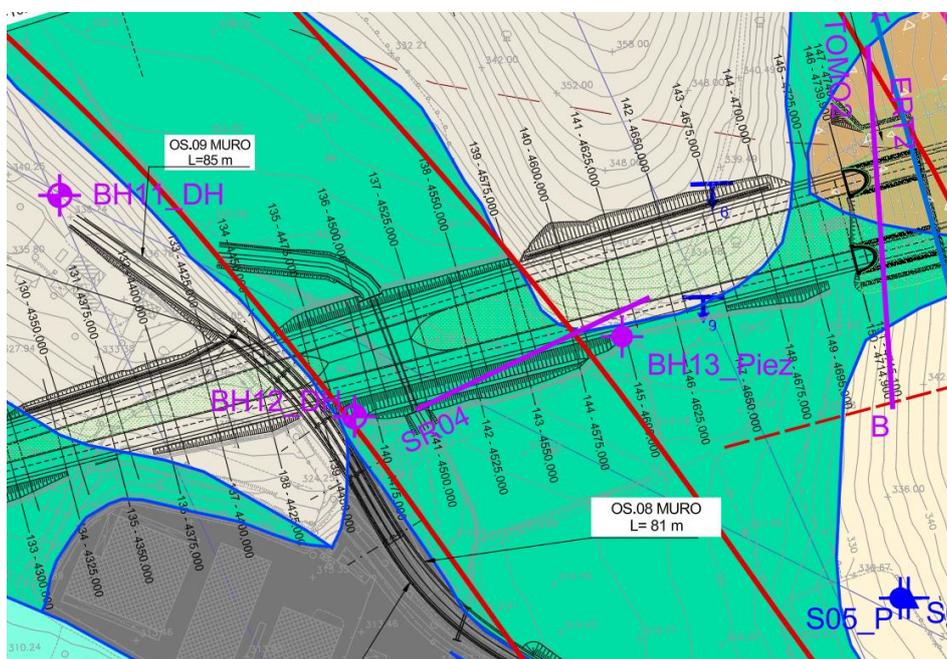
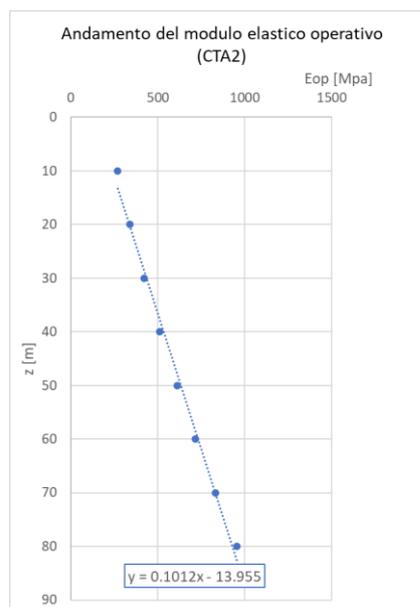
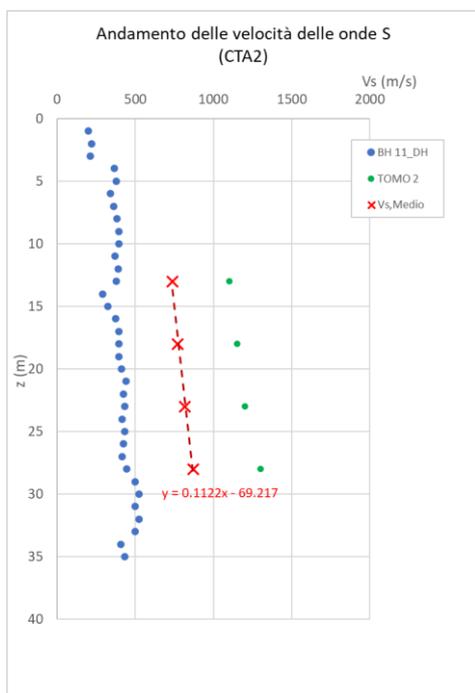


Figura 5: Planimetria ubicazioni indagini

Sulla base delle considerazioni esposte al § 4.2.2.1 si procede in maniera analoga per la determinazione dei parametri di deformabilità della formazione competente.

Di seguito si riportano i risultati delle prove sismiche in termini di Vs e l'andamento medio con la profondità con il quale si è valutato il modulo elastico operativo.



Nelle zone in cui è previsto l'attraversamento di materiale destrutturato e in prossimità di faglie, il modulo elastico viene determinato mediante i risultati ottenuti dalla prova DH condotta nel sondaggio BH11, poiché il materiale intercettato mostra segni di alterazione/destrutturazione. La sua legge di variazione è stata già valutata nella relazione geotecnica (cod. elab. T00GE08GETRE01) e di seguito si riportano i risultati:

$$25 < E \text{ [MPa]} < 90$$

$$3.5 \cdot z < E \text{ [MPa]} < 7 \cdot z$$

$$\text{per } z < 10\text{m}$$

$$\text{per } z > 10\text{m}$$

4.2.2.2. Unità geotecnica UG3 (MTC1)

Per la stima dei parametri di deformabilità si è fatto riferimento alle seguenti indagini:

- tomografia sismica (TOMO 4);
- prova DH eseguite sul sondaggio S05bis;
- prove pressimetriche sul sondaggio S06.

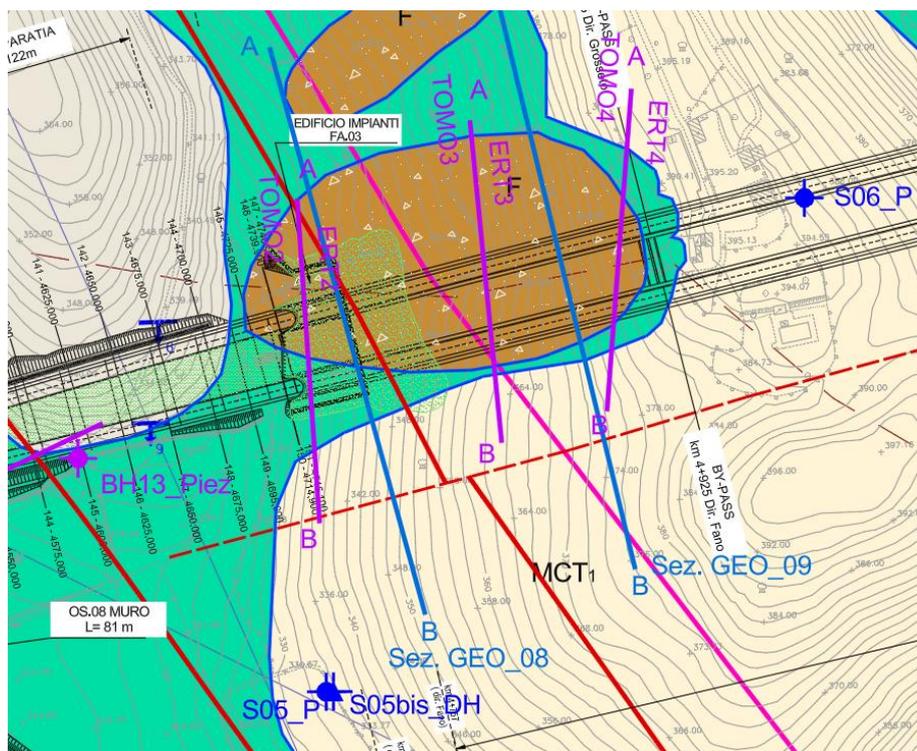
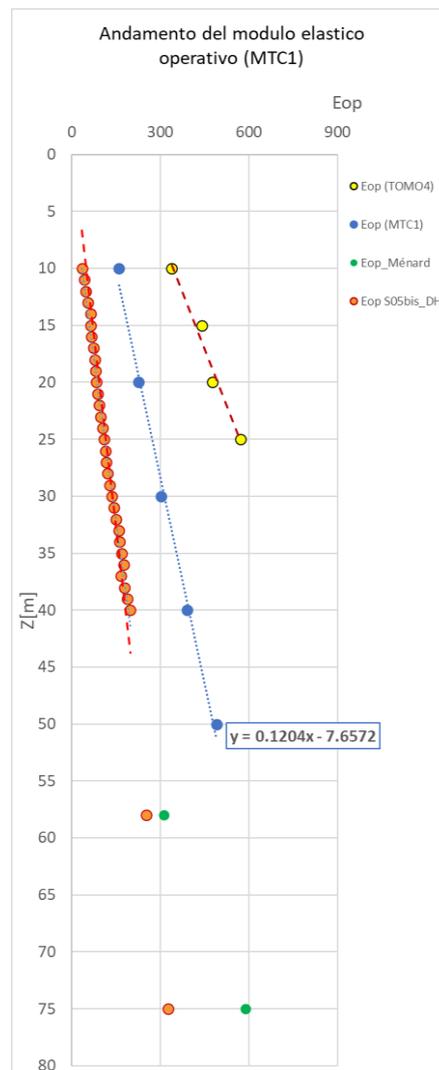
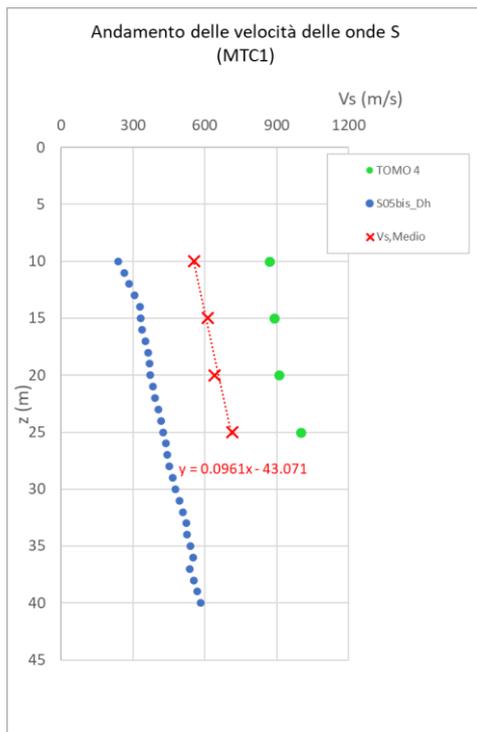


Figura 6: Planimetria ubicazioni indagini

Sulla base delle considerazioni esposte al § 4.2.2.1 si procede in maniera analoga per la determinazione dei parametri di deformabilità della formazione competente.

Di seguito si riportano i risultati delle prove sismiche in termini di Vs e il suo andamento medio con la profondità con il quale si è valutato il modulo elastico operativo. All'interno del grafico del modulo elastico si riportano anche i risultati ricavati dalle 2 prove pressiometriche eseguite sul sondaggio S06 alle profondità di 58 e 75m, per la loro valutazione è stato utilizzato un coefficiente reologico pari a $\alpha = 0.25$.

PROGETTAZIONE ATI:



Nelle zone in cui è previsto l'attraversamento di materiale destrutturato e in prossimità di faglie, il modulo elastico viene determinato mediante i risultati ottenuti dalla prova DH condotta nel sondaggio S05bis, poiché il materiale intercettato mostra evidenti segni di alterazione/destrutturazione. La sua legge di variazione è stata già valutata nella relazione geotecnica (cod. elab. T00GE08GETRE01) e di seguito si riportano i risultati:

$$20 < E \text{ [MPa]} < 50$$

$$4.5 \cdot z < E \text{ [MPa]} < 9 \cdot z$$

$$\text{per } z < 5m$$

$$\text{per } z > 5m$$

5. CONCLUSIONI

La caratterizzazione geotecnica, condotta ai fini della definizione dei parametri caratteristici delle litologie interessate dallo scavo della galleria Citerna, è stata eseguita sulla base dell'interpretazione dei dati provenienti dai sondaggi e dalle prove in sito e di laboratorio.

Per ogni unità sono stati distinti i parametri geotecnici di resistenza e deformabilità associati alla presenza in galleria di materiale destrutturato e/o tettonizzato.

I range di variabilità dei parametri di resistenza e deformabilità sono stati ottenuti dall'elaborazione statistica dei dati disponibili, a partire dai risultati delle prove in sito e di laboratorio.

Per caratterizzazione geotecnica delle tratte omogenee si rimanda alla relazione di calcolo (codice elaborato *(T00GN00OSTRE06)*).

PROGETTAZIONE ATI: