

**E45 - SISTEMAZIONE STRADALE DEL NODO DI PERUGIA
Tratto Madonna del Piano - Collestrada**

PROGETTO DEFINITIVO

PG 372

ANAS - DIREZIONE TECNICA

<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine Geologi Regione Lazio n. 1541</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A25143511 settore a-b-c</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GP INGENGNERIA GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><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><i>Ing. Giovanni C. Alfredo Dalenz Cultrera</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14069</p>	<p>(Mandante)</p> <p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti engeko AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Alessandro Micheli</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> <p>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Gallerie

Elaborati generali

Relazione tecnica generale delle opere in sotterraneo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00GN00OSTRE03_B		
DTPG372	D	22	CODICE ELAB. T00GN00OSTRE03	B	-
D					
C					
B	Rev. a seguito istruttorie Prot. U.0834569 e U.0862037	Gen. '23	Martelli	Signorelli	Guiducci
A	EMISSIONE	Ottobre '22	Martelli	Signorelli	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1.	<u>PREMESSA.....</u>	<u>2</u>
2.	<u>NORMATIVA</u>	<u>3</u>
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.	<u>DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</u>	<u>4</u>
4.	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</u>	<u>6</u>
5.	<u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</u>	<u>9</u>
5.1.	INDAGINI ESEGUITE	9
5.2.	ASPETTI GENERALI.....	9
5.3.	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E DEI PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ	10
6.3.1	<i>Unità geotecnica UG1</i>	<i>10</i>
6.3.2	<i>Unità geotecnica UGR.....</i>	<i>11</i>
6.3.3	<i>Unità geotecnica UG4</i>	<i>15</i>

PROGETTAZIONE ATI:

1. PREMESSA

La presente relazione geotecnica delle opere in sotterraneo è redatta nell'ambito della progettazione definitiva della galleria naturale collestrada, facente parte del progetto denominato "E45 – Sistemazione stradale del Nodo di Perugia Tratto Madonna del Piano – Collestrada".

Nell'ambito del progetto è prevista la realizzazione di una galleria a doppio fornice, che prevede l'esecuzione di un intervento di consolidamento dall'alto mediante l'esecuzione di pali plastici e una protesi in virtù delle basse coperture riscontrate lungo il tracciato.

PROGETTAZIONE ATI:

2. NORMATIVA

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- D.M. 17/01/2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”.
- DM 05-11-01, n.6792 e s.m.i.: “Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade”;
- Linee guida ANAS per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente.

PROGETTAZIONE ATI:

3. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La galleria collestrada (naturale + artificiale) è formata da 2 fornici. In alcuni tratti delle gallerie naturali sono previsti degli interventi di consolidamento dall'alto mediante l'esecuzione di pali plastici e una protesi a causa delle basse coperture che si intercettano lungo il tracciato.

Di seguito si riportano, per le 2 fornici, l'ubicazione degli interventi e la suddivisione tra la galleria artificiale e naturale.

Canna nord		
	Pk inizio	PK fine
GA	4600	4740
GN	4740	5930
PROTESI	5930	6078
GN	6078	6315
GA 2 solettoni	6315	6340
GA	6340	6820

Canna sud		
	Pk inizio	PK fine
GA	4+580.00	4+700.00
GN	4+700.00	5+920.00
PROTESI	5+920.00	6+000.00
GN	6+000.00	6+350.00
GA	6+350.00	6+420.00
GA 2 solettoni	6+420.00	6+620.00
GA	6+620.00	6+840.00

La parte di galleria naturale si sviluppa complessivamente per una lunghezza pari a 1575m per la canna nord e 1650m per la canna sud. La pendenza longitudinale della galleria è variabile da 0.1% fino a 2.8%. La copertura massima della galleria è pari a circa 100 m.

In Figura 3.1 e Figura 3.2 sono riportati gli schemi funzionali della galleria in sezione corrente e in piazzola.

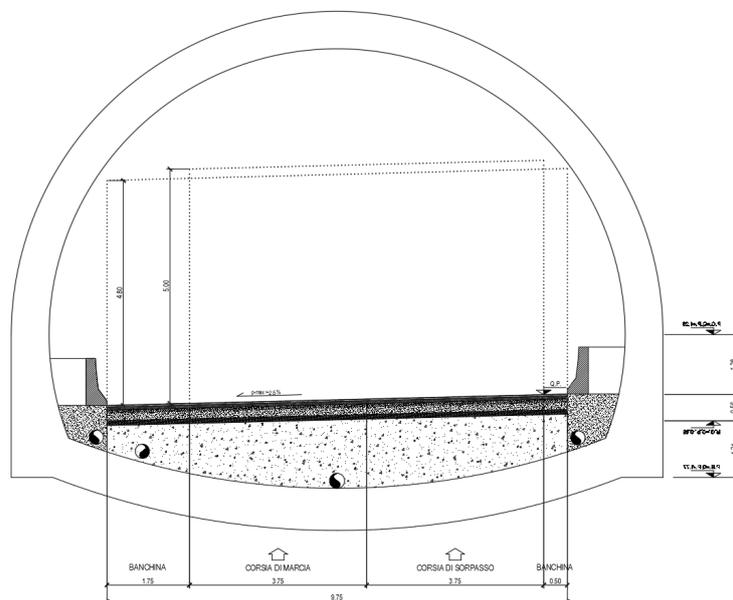


Figura 3.1: Funzionale sezione tipo corrente

PROGETTAZIONE ATI:

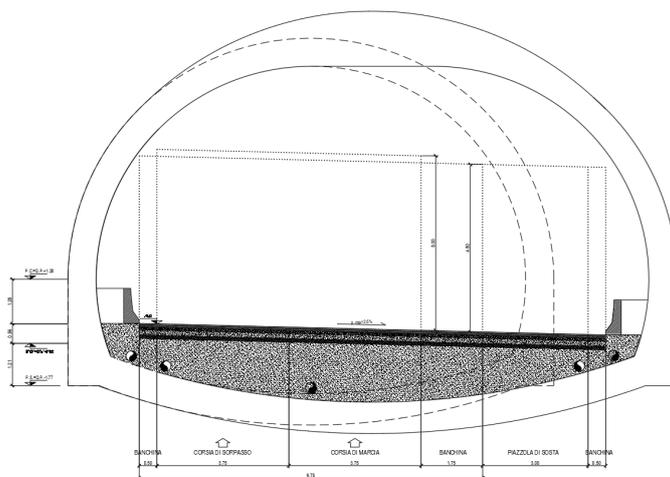


Figura 3.2: Funzionale sezione tipo piazzola

PROGETTAZIONE ATI:

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il tracciato, muovendosi da ovest verso est, corre all'interno della Val Tiberina lungo i depositi alluvionali del Tevere, attraversandone l'alveo (viadotto sul Tevere), attraversa le aree di raccordo tra fondovalle e rilievo in cui si incontrano depositi di conoide-terrazzo fluviale, per poi entrare in galleria artificiale prima e poi in naturale nel settore settentrionale della dorsale collinare di Brufa, impostata in una monoclinale immergente a medio-basso angolo verso est, costituita dalle arenarie e marne siltitiche mioceniche della Formazione Marnoso-Arenacea Umbra.

Segue un tratto in galleria artificiale che attraversa dapprima i depositi eluvio-colluviali poggianti sul substrato litoide miocenico, poi nuovamente il substrato a piena sezione ed infine i depositi fluvio-lacustri della litofacies di Sant'Egidio, lungo un versante orientato OSO-ENE immergente verso NNO, su cui insistono fenomeni di instabilità gravitativa superficiale.

Al termine della galleria artificiale il tracciato corre sul rilevato del tracciato esistente, poggiante sulle litologie della litofacies di Sant'Egidio.

Si riportano di seguito le tabelle con le sigle delle litologie utilizzate sulla carta geologica ed il profilo geologico (rispettivamente elaborati T00GE01GEOCG01-03 e T00GE01GEOFG01-08), le litologie con indicazione delle chilometriche di intercettazione lungo il tracciato per i due assi, destro e sinistro, e gli stralci della cartografia geologica in scala 1:10.000 del Piano Regolatore Generale dei comuni di Perugia e Torgiano, con evidenziato il tracciato dell'opera in progetto.

Tabella 4.1 Sigle delle litologie. *Questa sigla viene utilizzata solo nella carta geologica per indicare il complesso delle alluvioni fini (bf) e grossolane (bg).

Sigla	Litologia
h	Riporti
a	Depositi gravitativi
b*	Depositi alluvionali*
bf	Depositi alluvionali fini
bg	Depositi alluvionali grossolani
b2	Coltri eluvio-colluviali
c	Depositi di conoide
bn1	Depositi alluvionali terrazzati
SLFc	Litofacies di Sant'Egidio
AGI	Argille grigie inferiori
MAU	Formazione Marnoso-Arenacea Umbra

Tabella 4.2 Litologie incontrate lungo l'asse sinistro del tracciato, con indicazione delle chilometriche e delle opere previste.

Asse Sinistro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
1+820	3+386	bf	rilevato
3+285	3+945	bf	viadotto
3+945	4+184	bf	rilevato

PROGETTAZIONE ATI:

Asse Sinistro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
4+607	4+640	c/bn1	galleria artificiale
4+640	4+736	bn1	galleria artificiale
4+736	4+740	bn1/MAU	galleria artificiale
4+740	4+770	bn1/MAU	galleria naturale
4+770	5+929	MAU	galleria naturale
5+929	6+043	b2/MAU	galleria naturale
6+043	6+313	MAU	galleria naturale
6+313	6+315	SLFc/MAU	galleria naturale
6+315	6+366	SLFc/MAU	galleria artificiale
6+366	6+427	SLFc/AGI/MAU	galleria artificiale
6+427	6+464	SLFc/AGI	galleria artificiale
6+464	6+576	SLFc	galleria artificiale
6+576	6+691	a/SLFc	galleria artificiale
6+691	6+820	SLFc	galleria artificiale

Tabella 4.3 Litologie incontrate lungo l'asse destro del tracciato, con indicazione delle chilometriche e delle opere previste.

Asse Destro			
Chilometrica		litologia	Opera
Da km	a km		
4+588	4+620	c/bn1	galleria artificiale
4+620	4+700	bn1	galleria artificiale
4+700	4+764	bn1/MAU	galleria naturale
4+764	5+922	MAU	galleria naturale
5+922	6+008	b2/MAU	galleria naturale
6+008	6+338	MAU	galleria naturale
6+338	6+350	SLFc/MAU	galleria naturale
6+350	6+364	SLFc/MAU	galleria artificiale
6+364	6+486	SLFc/AGI/MAU	galleria artificiale
6+486	6+575	SLFc/AGI	galleria artificiale
6+575	6+581	a/SLFc/AGI	galleria artificiale
6+581	6+696	a/SLFc	galleria artificiale
6+696	6+733	SLFc	galleria artificiale
6+733	6+778	a/SLFc	galleria artificiale
6+778	6+831	SLFc	galleria artificiale

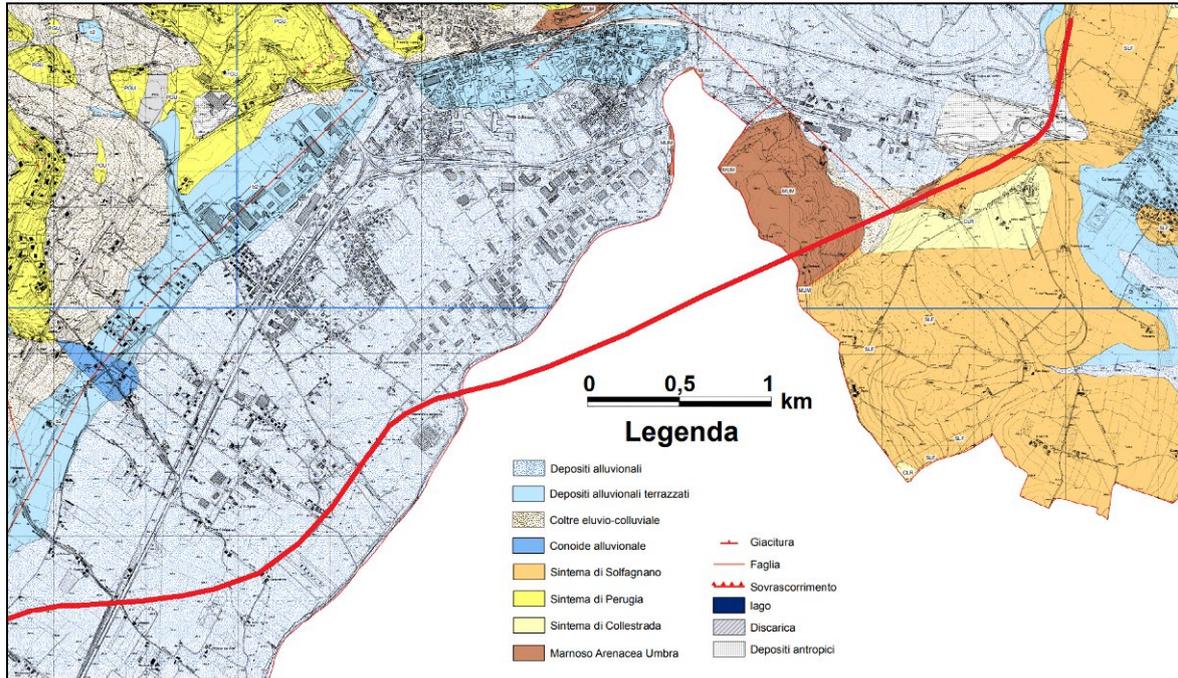


Figura 4.1 Stralcio della Carta Geologica in scala 1:10.000 del nuovo Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Perugia (2013). Linea rossa: andamento indicativo del tracciato.

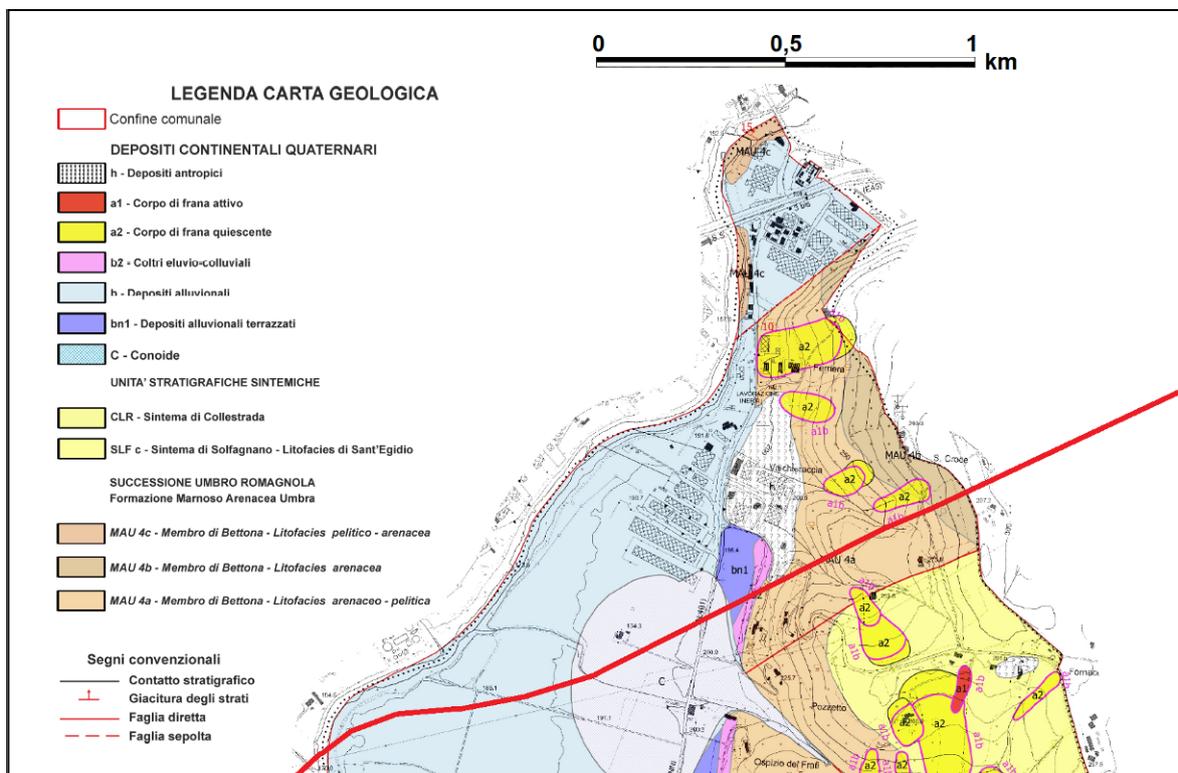


Figura 4.2 Stralcio della Carta Geolitologica in scala 1:10.000 della Variante al Piano Regolatore Generale, Parte Strutturale, del Comune di Torgiano (2021). Linea rossa: andamento indicativo del tracciato.

PROGETTAZIONE ATI:

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1. INDAGINI ESEGUITE

Per la descrizione delle campagne indagini eseguite e disponibili per la redazione del progetto si rimanda alla relazione geotecnica generale (codice elaborato - T00GE02GETRE01).

5.2. ASPETTI GENERALI

Ai fini della caratterizzazione geomeccanica dei terreni per la progettazione della galleria, sono stati utilizzati i dati desunti da bibliografia integrati con i parametri ottenuti dai risultati di indagini eseguite in sito. Attraverso l'applicazione della classificazione G.S.I. (Hoek & Marinos, 2001), per le formazioni a carattere litoide strutturalmente complesse e attraverso l'uso dei parametri di resistenza che caratterizzano il modello di Hoek-Brown, si sono ricavati, attraverso interpolazione, gli intervalli equivalenti dei parametri relativi al modello di Mohr-Coulomb. Per i terreni si sono desunti, direttamente dalle informazioni a disposizione, i parametri secondo il modello di Mohr-Coulomb. Partendo quindi dai risultati delle indagini (GSI, m_i , H, σ_{ci} , γ), si sono valutati i parametri di resistenza c' e ϕ' determinati attraverso la linearizzazione del criterio di rottura di Hoek-Brown:

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

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

Dove:

GSI

Geological Strength Index

D

Fattore di disturbo

H

Altezza della copertura

m_i

Parametro di Hoek e Brown della roccia intatta

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

Parametro di Hoek e Brown dell'ammasso roccioso

σ_{ci}

Resistenza a compressione della roccia intatta

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b+4s-a(m_b-8s))\left(\frac{m_b+s}{4}\right)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Resistenza globale dell'ammasso

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

Parametro legato all'assetto geostrutturale

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

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3max}}{\sigma_{ci}}$$

$$\sigma'_{3max} = \sigma'_{cm} 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$

Limite superiore tensione di confinamento

Per la definizione della resistenza a compressione uniaassiale σ_{ci} e del GSI sono stati utilizzati i risultati riportati nella relazione geotecnica (cod. el. T00-GE01-GEO-RE01) che fanno riferimento alle prove a compressione uniaassiale e ai valori misurati in situ delle campagne di indagine pregresse. La scelta

dei parametri è avvenuta focalizzando l'attenzione sui dati misurati alle profondità significative per le gallerie in progetto.

Per la valutazione del modulo di rigidezza dell'ammasso roccioso, sono stati presi in considerazione principalmente i risultati delle tomografie sismiche a rifrazione (si faccia riferimento al documento T00-GE01-GEO-RE01).

5.3. DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE E DEI PARAMETRI DI RESISTENZA E DEFORMABILITÀ

Sulla base delle formazioni geologiche precedentemente elencate e, in considerazione dell'interpretazione delle indagini e prove a disposizione, sono state definite le seguenti unità geotecniche:

- Unità geotecnica UG1: depositi alluvionali terrazzati;
- Unità geotecnica UGR: formazione marnoso arenacea;
- Unità geotecnica UG4: depositi di sant'Egidio;
- Unità geotecnica UG5: coltre eluvio colluviale.

In mancanza di prove in situ e laboratorio, per la coltre eluvio colluviale (UG5) sono stati assunti i seguenti parametri di resistenza e deformabilità:

- $c' = 5 \text{ KPa}$
- $\phi' = 35^\circ$
- $E = 30 \text{ MPa}$
- $\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$

Di seguito si riportano le unità geotecniche interferenti con gli scavi della galleria.

6.3.1 UNITÀ GEOTECNICA UG1

Unità geotecnica costituita da depositi alluvionali fini e dai depositi di conoide. Si presenta come un limo con argilla sabbioso. È presente in superficie, con uno strato variabile da 0,5 m a 12,0 m circa, nel primo tratto del tracciato di progetto fino all'imbocco Sud della galleria naturale. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dell'unità geotecnica:

Unità geotecniche	UG1
Descrizione	Limo con argilla sabbioso
γ (kN/m ³)	19
c' (KPa)	5 - 10
Φ' (°)	25 - 27
E [MPa]	20 - 25

6.3.2 UNITÀ GEOTECNICA UGR

Per la caratterizzazione dei parametri di resistenza della formazione marnoso-arenacea sono stati utilizzati i parametri di correlazione con Hoek-Brown mentre per definire i parametri di deformabilità sono stati presi in riferimento anche i risultati delle tomografie sismiche ibride relativa alle indagini SRI01 SRI02 e SRI03 che ricadono all'interno della formazione in esame (Figura 5.1).

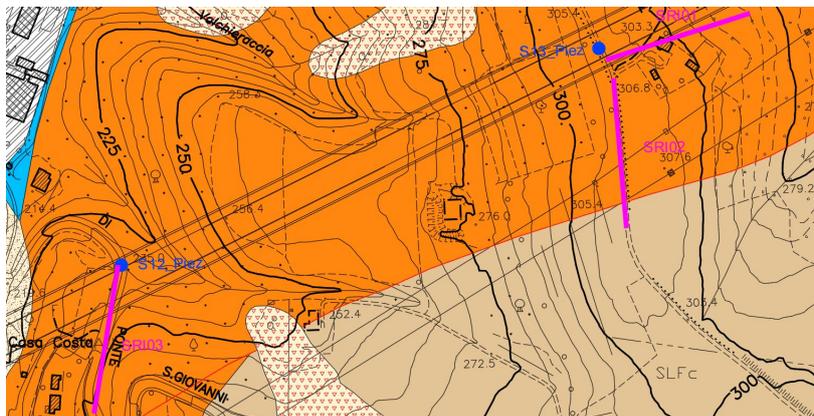


Figura 5.1: Stralcio planimetrico ubicazione indagini tomografiche

Dai risultati di tali indagini si è potuto determinare l'andamento del modulo elastico in funzione della profondità (Figura 5.2).

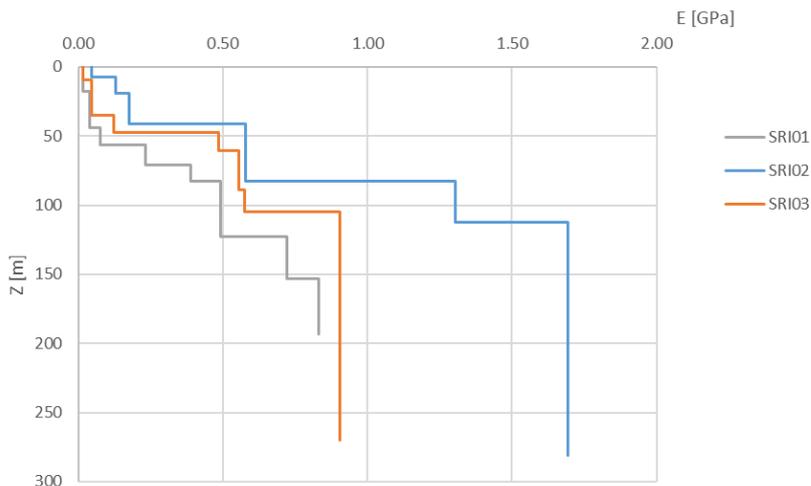


Figura 5.2: Andamento del modulo elastico dalle 3 indagini tomografiche (SRI01, SRI02, SRI03)

Per la definizione della resistenza a compressione uniaassiale σ_{ci} e del GSI sono stati utilizzati i risultati riportati nella relazione geologica (cod. el. T00-GE01-GEO-RE01) che fanno riferimento alle stazioni geomeccaniche, alle prove a compressione uniaassiale e ai valori misurati in situ delle campagne di indagine pregresse. Si considera un GSI compreso nel range 45-58 e una resistenza a compressione compresa nel range 10-40 MPa per le tratte omogenee ad alte coperture e 5-10 MPa per le tratte a basse coperture.

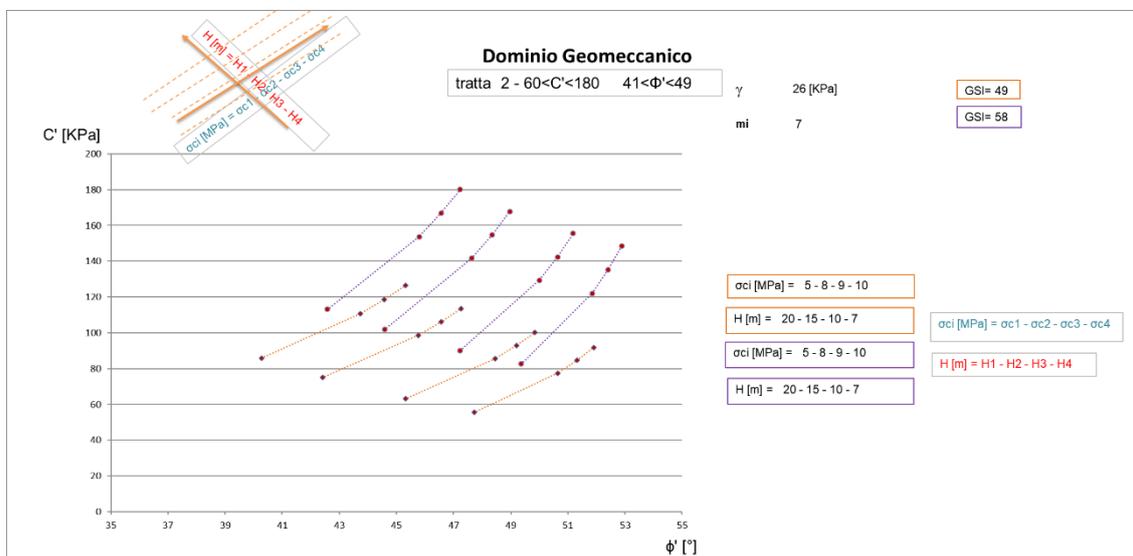
Per la valutazione del modulo elastico, sono stati presi in considerazione sia i risultati ottenuti mediante la linearizzazione del criterio di Hoek-Brown, sia i risultati delle tomografie sismiche a rifrazione.

PROGETTAZIONE ATI:

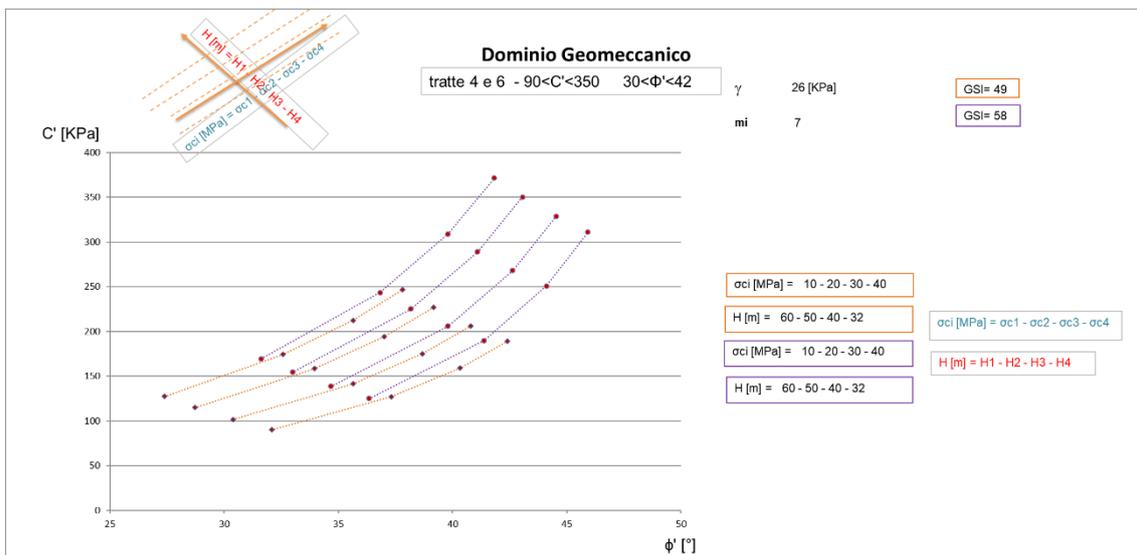
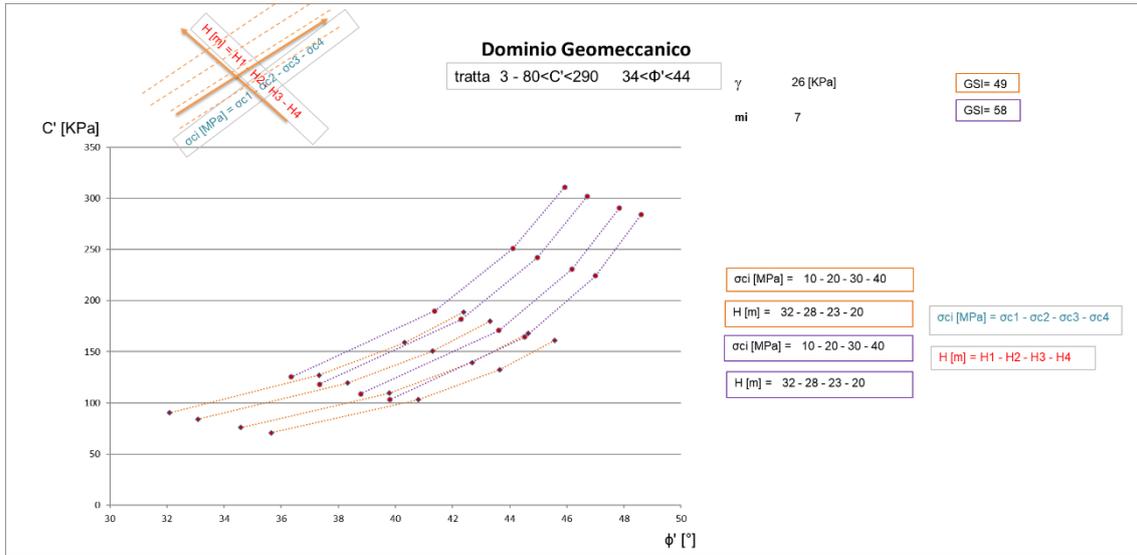
Considerando la variabilità delle coperture lungo il tracciato della galleria, è stato valutato un modulo di rigidezza dell'ammasso roccioso tra 0.06 e 2 GPa. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dell'unità geotecnica:

Unità geotecniche	UGR
Descrizione	Formazione marnoso-arenacea
γ (kN/m ³)	26
GSI	49 - 58
σ_{ci}	5 - 10 (basse coperture)
	10 - 40 (alte coperture)
m_i	7

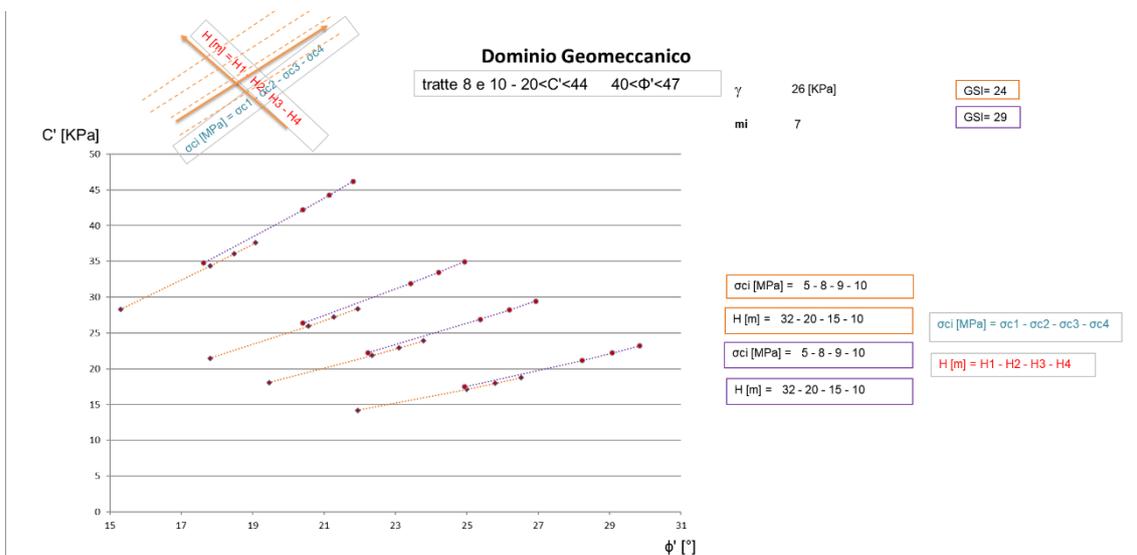
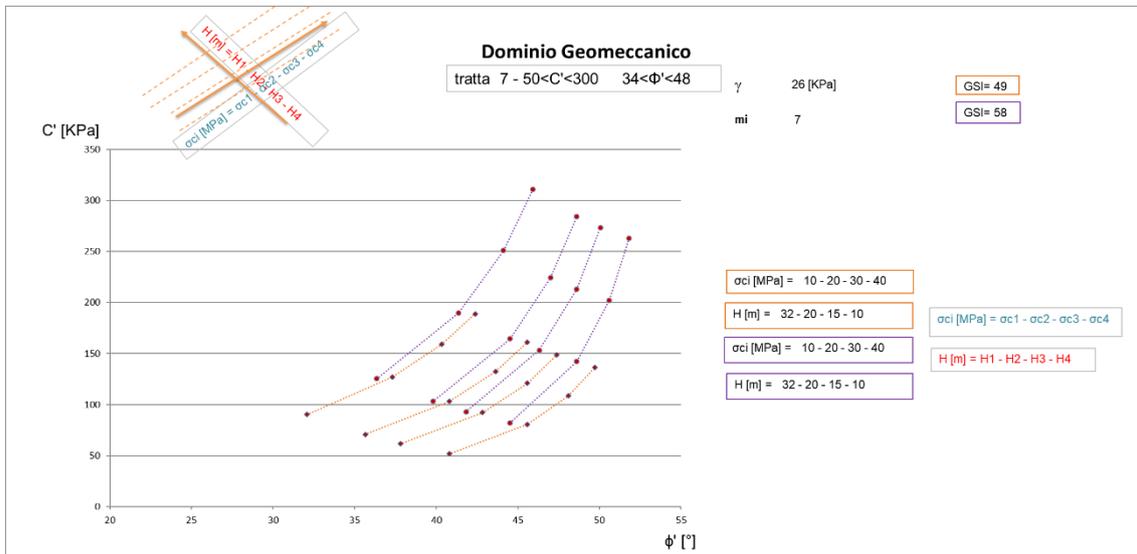
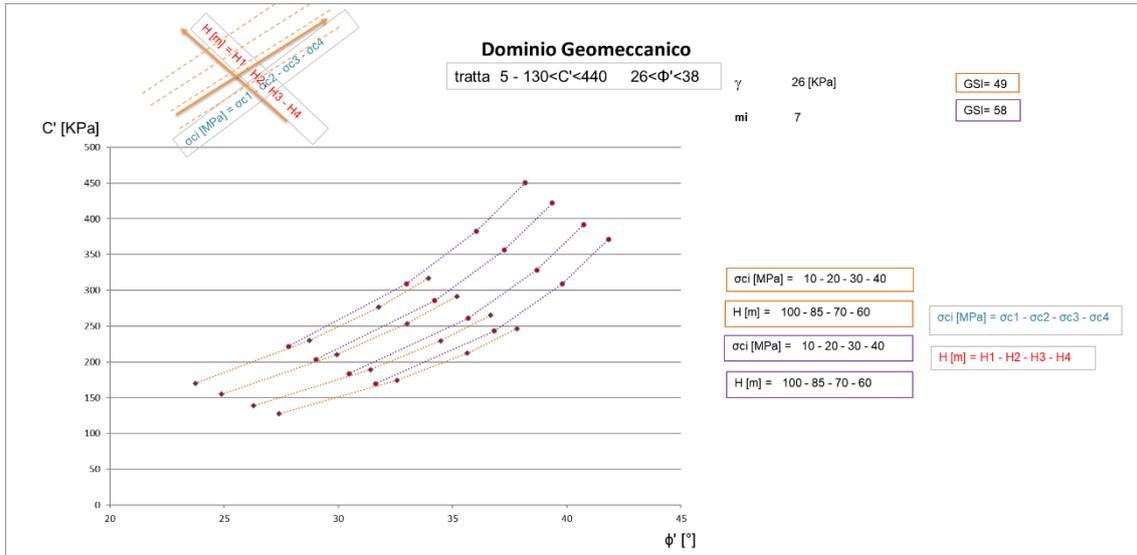
Di seguito si riportano, per ogni tratta omogenea, i domini geomeccanici e il range dei parametri di resistenza (c' - ϕ') determinati attraverso la linearizzazione del criterio di rottura di Hoek-Brown.



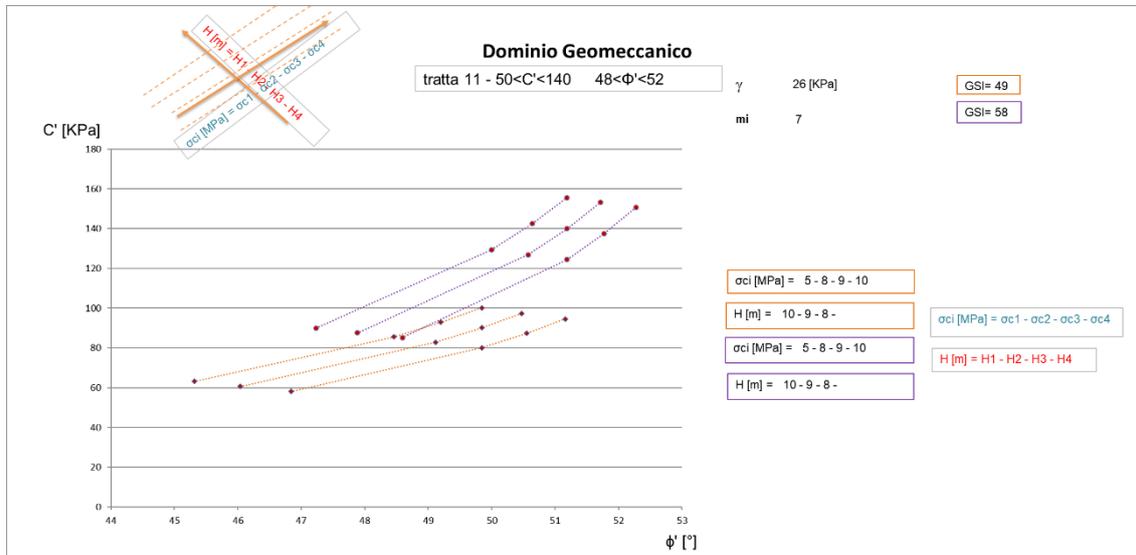
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



6.3.3 UNITÀ GEOTECNICA UG4

Unità geotecnica costituita dalla litofacies di Sant'Egidio. Si presenta come un limo con argilla sabbioso. È presente in superficie, con uno strato di 15,0 m circa, nell'ultimo tratto del tracciato di progetto dall'imbocco Nord della galleria artificiale fino alla progressiva finale. Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dell'unità geotecnica:

Unità geotecniche	UG4
Descrizione	Limo con argilla sabbioso
γ (kN/m ³)	18 – 20
c' (KPa)	0 - 10
Φ' (°)	25 - 29
E [MPa]	25 - 35

PROGETTAZIONE ATI: