

PNC – PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009–2016, Sub–misura A4, "Investimenti sulla rete stradale statale"

S.S. 210 – Amandola – Servigliano – Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni – 3° Stralcio

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Ing. Marco Salvi</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A30808		I PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Ing. Isidoro Guerrini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14764 <i>Ing. Moreno Paliffl</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657 <i>Ing. Giovanni.C.Alfredo Dalenz Cultrera</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14069 <i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629	PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)  <i>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</i>  cooprogetti   <i>Studio di Architettura e Ingegneria Modelna</i>
IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541			(Mandante) (Mandante)
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Marco Mancina</i>			(Mandante)
PROTOCOLLO	DATA	IL PROGETTISTA E 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	

Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI
ORDINE INGEGNERI
ROMA
N° 14035

GEOLOGIA GEOTECNICA
GEOTECNICA
 Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO PROGETTO LIV.PROG. ANNO <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>			NOME FILE T01GE00GETRE01A		REVISIONE	SCALA
CODICE ELAB.			<input type="text"/>		<input type="text"/>	<input type="text"/>
D						
C						
B						
A	Emissione a seguito di CDS		Maggio '23	A.Belà	Guerrini	G.Guiducci
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. <u>PREMESSA</u>	3
2. <u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</u>	4
2.1. NORMATICA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE	4
3. <u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</u>	5
3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	5
3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	7
3.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	9
4. <u>INDAGINI ESEGUITE</u>	11
4.1. CAMPAGNE DI INDAGINE	11
4.2. INDAGINI IN SITO	11
4.2.1. <i>Prova penetrometrica dinamica (SPT)</i>	11
4.2.2. <i>Prova penetrometrica dinamica continua superpesante (DPSH)</i>	12
4.2.3. <i>Misure piezometriche</i>	12
4.3. INDAGINI SISMICHE.....	13
4.3.1. <i>Prova MASW</i>	13
4.3.1. <i>misure di Rumore sismico Ambientale (metodo HVSR)</i>	14
4.3.1. <i>Indagini sismiche a rifrazione in onda P e in onda S</i>	14
4.4. PROVE DI LABORATORIO.....	15
4.5. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE	15
4.5.1. <i>Prove penetrometriche statiche (SPT)</i>	15
4.5.2. <i>Indagini sismiche</i>	20
5. <u>INQUADRAMENTO GEOTECNICO</u>	22
6. <u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</u>	23
6.1. CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI	23
6.1.1. <i>Unità geotecnica UG1</i>	23
6.1.2. <i>Unità geotecnica UG2</i>	31
6.2. PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI	38
7. <u>AZIONI SISMICHE</u>	39
8. <u>PROBLEMATICHE GEOTECNICHE E SOLUZIONI TECNICHE ADOTTATE</u>	40
8.1. RILEVATI	40
8.1.1. <i>Analisi di stabilità</i>	40
8.2. TRINCEE	42
8.2.1. <i>Analisi di stabilità</i>	42

PROGETTAZIONE ATI:

8.3.	OPERE D'ARTE	44
9.	<u>PROGETTO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO E STRUTTURALE</u>	
	<u>ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.</u>	
9.1.	OPERE D'ARTE MAGGIORI - VIADOTTI	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
9.2.	OPERE D'ARTE MINORI – PARATIE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
9.3.	OPERE D'ARTE MINORI – MURI DI SOSTEGNO	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
9.4.	FREQUENZA DELLE LETTURE	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
10.	<u>ALLEGATI.....</u>	46
10.1.	ALLEGATO 1	46

1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta nell'ambito del Progetto di fattibilità tecnica ed economica del 3° stralcio dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni. I lavori compresi in questo stralcio fanno parte del quadro delle iniziative inquadrate nel Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Nella presente relazione vengono esaminati e sviluppati i seguenti aspetti:

- Descrizione delle campagne di indagini eseguite e delle analisi di laboratorio;
- Caratterizzazione geotecnica delle formazioni individuate lungo il tracciato in esame;
- Schematizzazione stratigrafica e geotecnica del progetto;
- Elementi di dimensionamento preliminare delle opere geotecniche (opere di sostegno, fondazioni, gallerie artificiali).

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1. NORMATICA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE

- [1] D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- [2] Circolare 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al DM17/01/2018"
- [3] UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-1
- [4] UNI EN 1997-1:2005 Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo. Versione in lingua italiana della norma europea EN1997-2
- [5] AGI – Associazione Geotecnica Italiana (2005) "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica"

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto della presente indagine, secondo una analisi omogenea dal punto di vista del rilievo, dell'assetto morfologico complessivo e della posizione geografica precedentemente presa in considerazione, effettuata a partire dalla Carta Geologica delle Marche (1: 250.000) e dalla Carta Geologica d'Italia (1: 100.000), appartiene alla regione fisiografica "B - Fasce di rilievi collinari comprese tra catene montuose o adiacenti ad esse" [Sistema Ba], caratterizzata dalla presenza in substrato di alternanze di termini arenacei, arenaceo-pelitici e pelitico arenacei con, in subordine, livelli argillosi e gessi, depositi nel Miocene (23,03 – 5,333 Ma), fittamente stratificati e con possibili strutture sinclinali.

I depositi superficiali sono in genere argilloso-limoso-sabbiosi di spessore anche cospicuo (da qualche metro fino ad oltre 30 m) e, lungo le valli fluviali, sono presenti depositi alluvionali terrazzati, prevalentemente limoso argillosi, di consistente estensione e potenza.

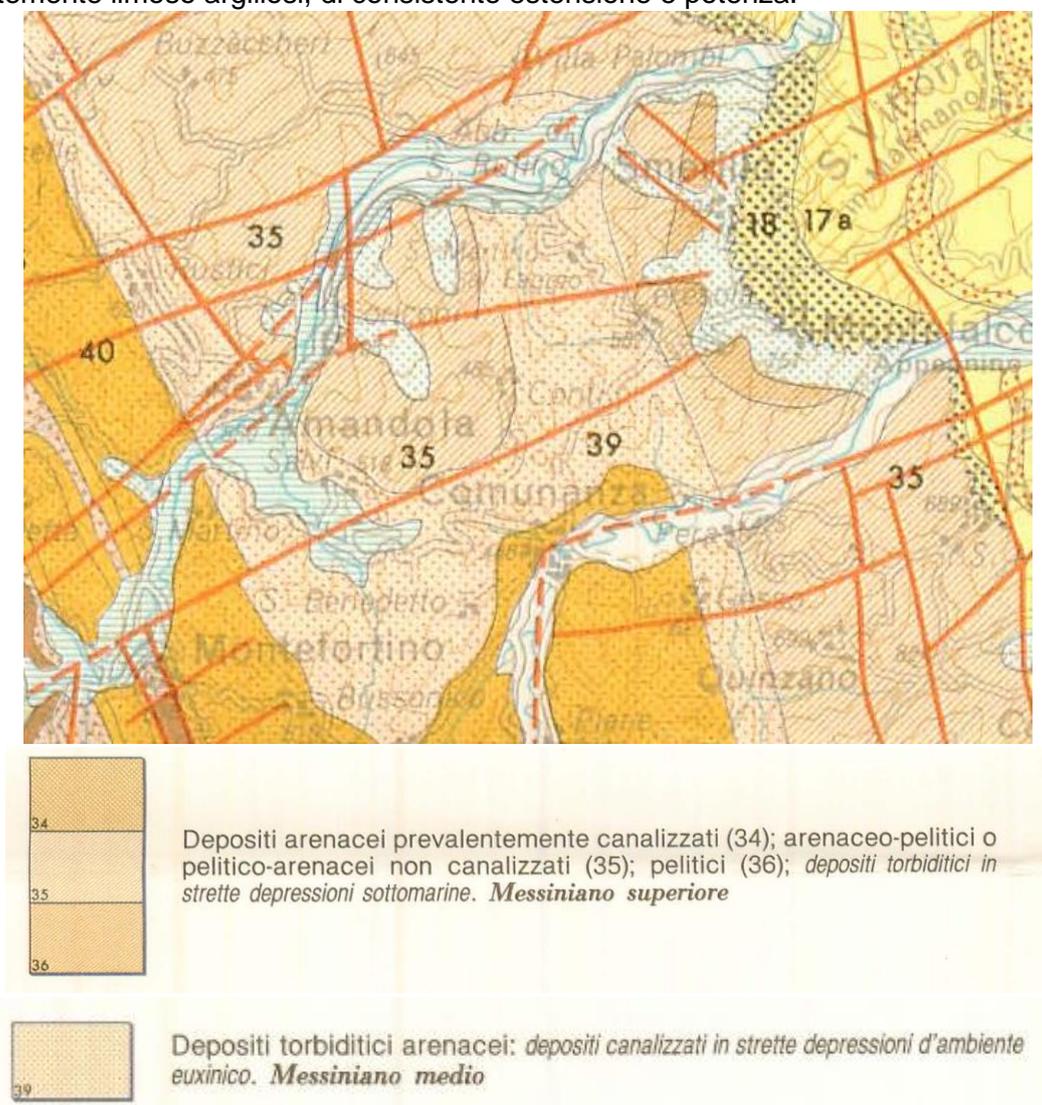


Figura 3-1 Carta geologica delle Marche – E. Centamore(Studi geologici Camerti-1986).

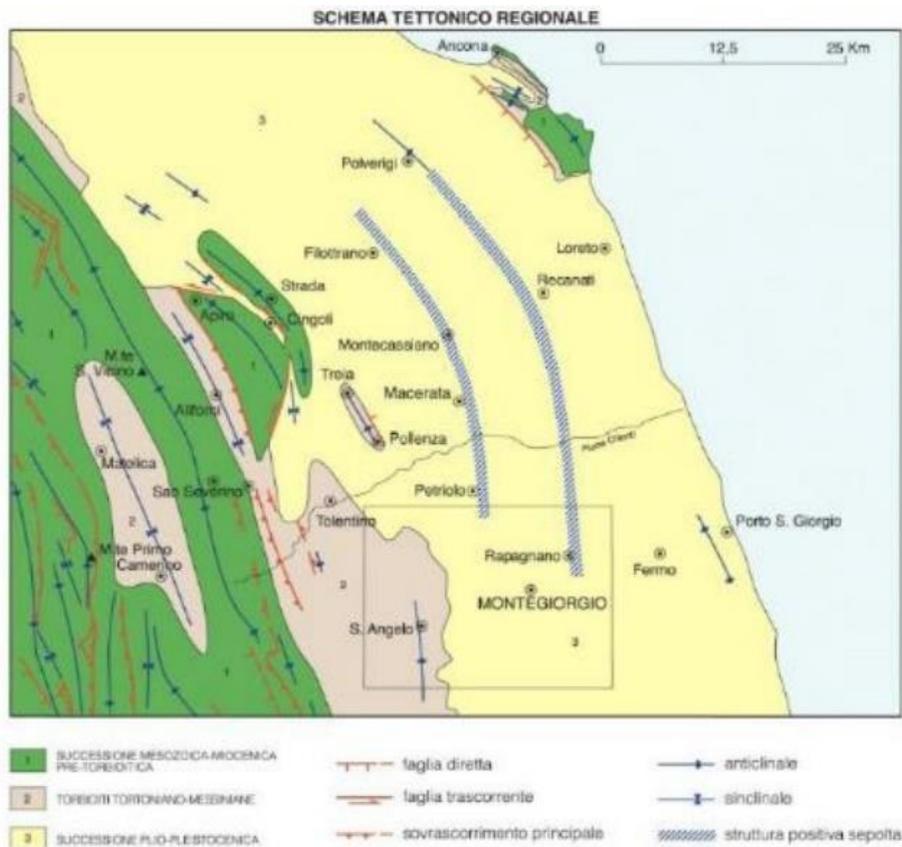


Figura 3-2 Carta geologia foglio 314- SCHEMA TETTONICO REGIONALE (Montegiorgio).

Le successive fasi di emersioni per effetto dell'intenso sollevamento dell'area avviano una fase evolutiva caratterizzata da vari processi continentali, erosivi e deposizionali, correlati alle variazioni climatiche e alle fasi tettoniche.

La successione stratigrafica dell'area è illustrata nella seguente sezione di riferimento estratta dalla carta geologica (B-B1 Foglio 314 Montegiorgio CARG).

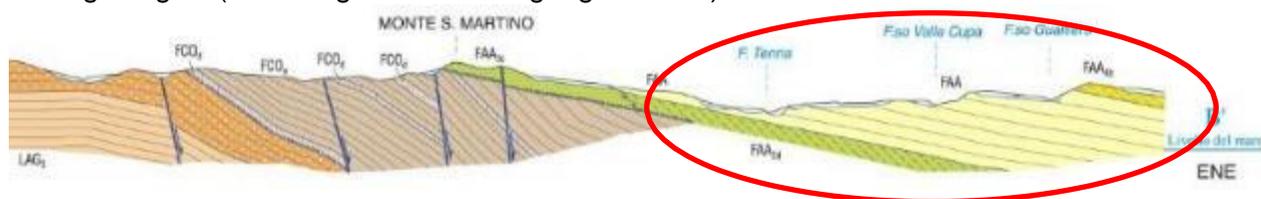


Figura 3-3 Carta geologia foglio 314 (Montegiorgio).

Lo schema sopra proposto evidenzia che la zona presa in considerazione risulta posta al di fuori di aree fortemente tettonizzate e costituisce di fatto una monoclinare con stratificazioni in genere immergenti verso N-E. Anche la cartografia tettonica proposta da E. Centammore ipotizza una faglia nel talweg del Fiume Tenna nell'area del lago di San Ruffino.

L'area interessata dal nuovo progetto è caratterizzata dall'affioramento prevalente di coltri alluvionali e coperture del basamento litoide poste al di fuori del tracciato stradale con spessori variabili, riferibili a:

PROGETTAZIONE ATI:

- depositi alluvionali decenti MUS b depositi ubicati principalmente lungo il talweg attuale del Fiume Tenna e costituiti prevalentemente da sedimenti sciolti grossolani di natura calcarea e subordinatamente silicea ed arenacea in matrice sabbiosa.
- Sintema del Musone MUSbn-depositi alluvionali terrazzati con ghiaie e sabbie in proporzioni variabili (Olocene).
- Sintema del Musone MTIbn-depositi alluvionali terrazzati costituiti da terreni a granulometria fine (Pleistocene Superiore).
- Sintema del Musone MUSa1-depositi franosi comprendenti frane quiescenti ed attive (Olocene).

Le alluvioni celano una formazione della Laga di origine marina, LAG 3e che costituisce il Membro Postevaporitico è costituito da una litofacies pelitico- arenacea caratterizzata da peliti grigie con rare intercalazioni di strati arenacei a spessore variabile e LAG 2 che costituisce il Membro Evaporitico è costituito da una litofacies arenaceo-pelitica e pelitico- arenacea. Tali formazioni sono riconducibili al Messiniano p.p..

Quanto sopra è stato confermato dalle indagini eseguite dove le stratigrafie mostrano spessori elevati di depositi alluvionali terrazzati e anche la consistenza degli stessi, mentre le prove sismiche permettono la ricostruzione dell'andamento del substrato lungo il percorso stradale come ricostruito nei profili geologici allegati (tavv.T01GE00GEOFG01A).

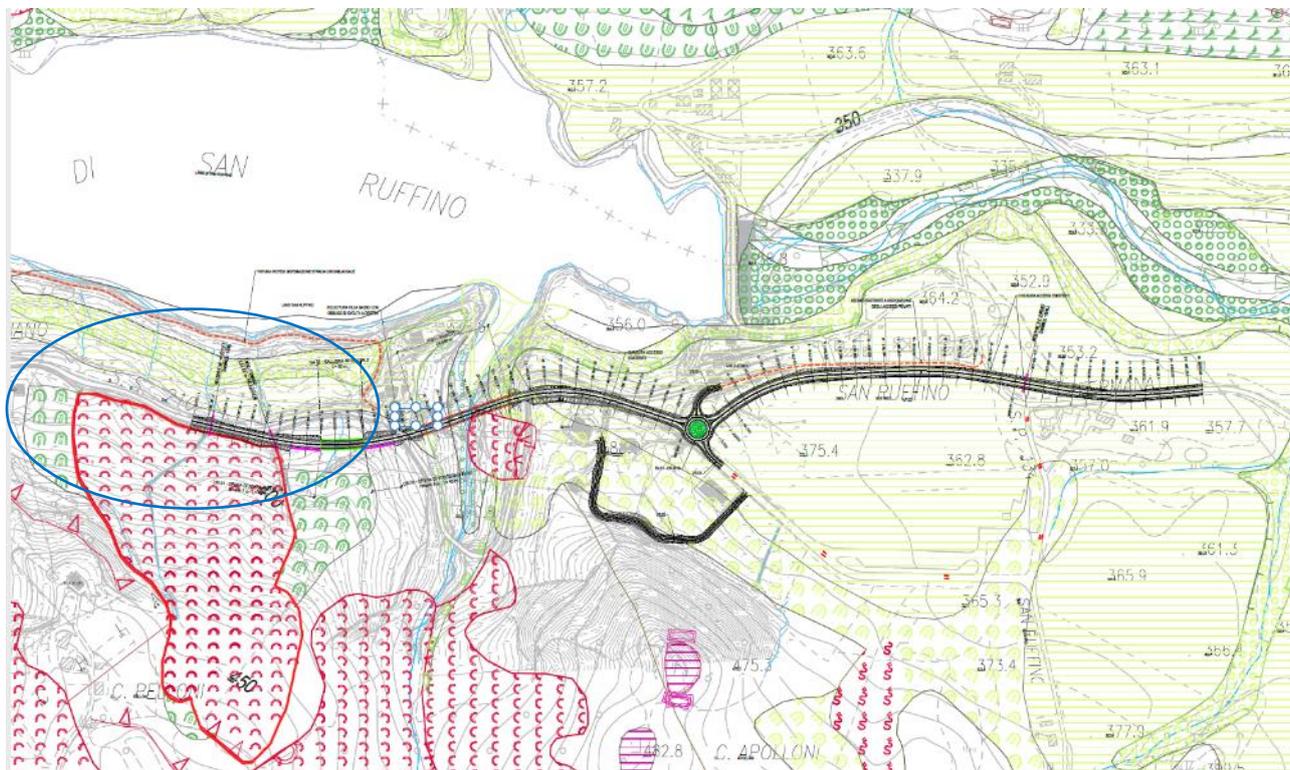
Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (*elaborato T01GE00GEORE01*).

3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il rilevamento geomorfologico eseguito sia sul terreno che con l'ausilio delle immagini aeree viene riportato in tav. T01GE00GEOCG02A dove sono riportate diverse forme e processi legati eventi geomorfologici e ad instabilità di versante. Questa tavola è stata redatta anche attingendo dal contributo offerto dalla cartografia PAI e della cartografia CARG Regione Marche. In particolare in campo sono state individuate ben poche forme o processi rispetto alla cartografia tematica di base in quanto il tracciato stradale di progetto si sviluppa interamente su un fondo valle alluvionale. Nella zona di inizio lotto posta ad ovest è presente un evidente movimento franoso, attualmente ritenuto quiescente, che si sviluppa coinvolgendo nella zona di monte li terreni della formazione della Laga i quali a loro volta nello scivolamento verso valle hanno coinvolto terreni alluvionali.

Un piccolo fenomeno di instabilità si segnala nella zona che viadotto ma che trae origine al di fuori del tracciato stradale. Questa piccola frana è legata alla perdita di stabilità del versante per elevata pendenza topografica e l'ubicazione rimane incerta in quanto la zona è fortemente vegetata da non consentire una perimetrazione ben definita. In ogni modo la frana non è attiva.

Sotto l'aspetto idraulico il tracciato stradale proposto non coinvolge alcun corso d'acqua in quanto presente solamente un fosso che viene superato in viadotto.



LEGENDA

ELEMENTI GEOLOGICI STRUTTURALI

TETTONICA

	Stratificazione orizzontale
	Stratificazione inclinata
	Stratificazione verticale
	Stratificazione rovesciata
	Faglia certa
	Faglia presunta
	Sovraccorrimiento
	Sovraccorrimiento presunto
	Fessura (o altri elementi tettonici di incerta definizione)

FORME DI VERSANTE DOVUTE ALLA GRAVITA'

A. FORME DI DENUDAZIONE

	Nicchia di frana:		attive
	non attive		non attive
	si di crollo		
	si di scorrimento		
	ci di colamento		
	Gradino		
	Contropendenza		
	Superficie dissestate da crepe		
	Superficie dissestate da soffiamento		
	Orlo di scarpate di degradazione		
	Canalone in rocce con scariche di detrito		
	Cretra di degradazione		

B. FORME DI ACCUMULO E RELATIVI DEPOSITI

	Corpo di frana:
	si di crollo
	si di scorrimento
	ci di colamento
	Piccola frana o gruppo di piccole frane non classificate

FORME FLUVIALI, FLUVIO-GLACIALI E DI VERSANTE DOVUTE AL DILAVAMENTO

A. FORME DI EROSIONE

	attive
	non attive
	Alveo in approfondimento
	Sello di raccoglimento concentrato
	Valluccia a V
	Valluccia a conca
	Valluccia a fondo piatto
	Alveo in erosione laterale o sponda in erosione
	Piagione di erosione
	Orlo di scarpate di erosione fluviale o di terrazzi:
	si altezza inferiore a 5 metri
	si altezza fra 5 e 10 metri
	si altezza superiore a 10 metri
	Orlo di scarpate di denudazione
	Superficie con forme di allargamento prevalentemente diffuso
	Superficie con forme di allargamento prevalentemente concentrato
	Calanco isolato
	Arre e calanchi o forme similari
	Cretra

B. FORME DI ACCUMULO E RELATIVI DEPOSITI

	Limo e argilla
	Sabbia
	Ghiaie
	Blocchi
	Cono alluvionale
	Colata da trasporto in massa (debris flow, mud-flow)
	Cono colluviale
	Deposito colluviale

Figure 3-1 Estratto da Carta geomorfologica tav T01GE00GEOCG02A in azzurro l'area d'interesse

PROGETTAZIONE ATI:

Il tratto stradale interessa aree che rappresentano residui delle superficie terrazzate del Tenna. Il tratto Ovest del tracciato per un breve tratto lambisce il piede una zona instabile come riportato nella carta geomorfologica allegata.

L'esecuzione del sondaggio Ad_S1 strumentato con inclinometro ha permesso di individuare il substrato a breve profondità e quindi ciò ha portato ad escludere che il movimento franoso di monte potesse coinvolgere anche la sede stradale attuale. Inoltre futuri controlli inclinometrici potranno avallare questa tesi. Attualmente è stata effettuata la lettura di taratura della strumentazione analizzando i 4 canali (13 maggio 2023).

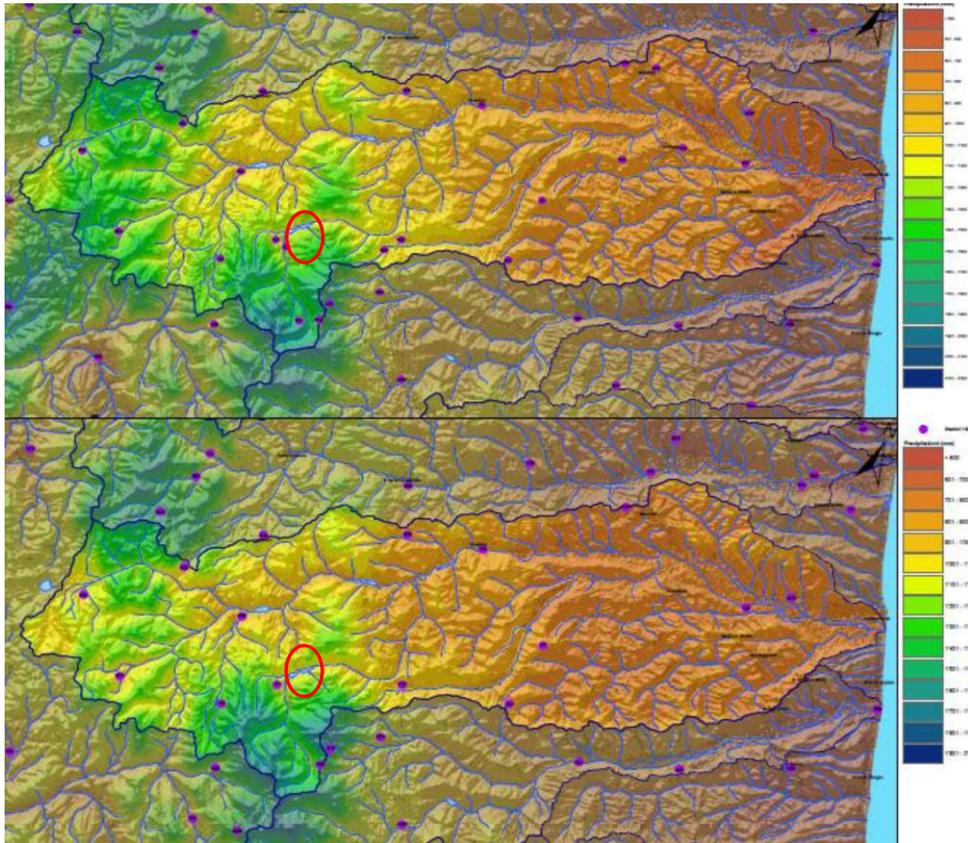
Il talweg fluviale risulta essere di natura complessa come in precedenza descritto ed è bordato da sponde talora impervie e a volte degradanti dolcemente rispetto alla morfologia locale. La presenza del lago di San Ruffino, oggi artificiale, ha origine sicuramente da fenomeni naturali di sbarramento per frana del corso d'acqua più a valle dell'area di studio che ha portato a depositare elevati quantità di limi sabbie ed argille che si ritrovano nei sondaggi eseguiti. Il sollevamento per tettonica della zona ha determinato probabilmente la erosione dei sedimenti alluvionali e determinato le attuali morfologie assai complesse.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (*elaborato T01GE00GEORE01*).

3.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

L'area di studio fa parte del bacino idrografico del Fiume Tenna che risulta essere un'asta fluviale abbastanza breve che si origina ai piedi della dorsale carbonatica dei monti Sibillini e sfocia direttamente nell'Adriatico. L'asta fluviale è costituita da diversi affluenti in entrambe le direzioni ed in genere risulta incassato nelle proprie alluvioni recenti o terrazzate formatesi nel quaternario o, come nel nostro caso anche nel Miocene.

Nell'area sono presenti dei potenti terrazzi fluviali che però si riducono sensibilmente procedendo verso l'interno e quindi allontanandoci dall'asta fluviale principale. Gli affluenti in questa zona sono caratterizzati da modesti spessori di depositi contenenti modesti acquiferi per lo più a carattere intermittente. Lo sviluppo areale dei corsi d'acqua risulta dendritico e sempre costituito da fossi abbastanza brevi e posti in impluvi anche fortemente incisi. I terreni presenti in zona possono essere sede di sorgenti e/o risorgive per lo più di modeste portate e localizzate in lineamenti tettonici o di contatto tra litotipi a differente permeabilità.



Questa tavola riporta la piovosità media della zona tra gli anni 1962-1989 prima tavola e 1990-2017 seconda tavola.

Come si può notare le precipitazioni medie per la zona in esame sono praticamente costanti nell'arco degli ultimi 60 anni di osservazione.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica (*elaborato T01GE00GEORE01*).

4. INDAGINI ESEGUITE

4.1. CAMPAGNE DI INDAGINE

Nel corso dell'iter progettuale e approvativo del progetto è stata eseguita un'unica campagna d'indagini (2022) commissionata da ANAS S.p.A. *Struttura territoriale Marche – Via Isonzo, 15 – 60124 Ancona*.

Durante la campagna di indagini eseguita dalla *Albanese Perforazioni s.r.l., Ripalimosani (CB)*, sono state effettuate le seguenti lavorazioni:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo;
- installazione di n. 3 piezometri a tubo aperto;
- installazione di n. 1 piezometro di Casagrande;
- installazione di 1 inclinometro;
- n. 18 prove SPT;
- n. 3 prove DPSH;
- n. 3 stendimento sismico a rifrazione con elaborazione tomografica;
- n. 3 stendimenti sismici MASW;
- n. 3 indagini di sismica passiva HVSR;
- n. 13 prelievi di campioni indisturbati effettuati nel corso dei sondaggi;
- n. 4 prelievi di campioni rimaneggiati effettuati nel corso dei sondaggi;
- n. 1 campioni di terra prelevati per finalità di carattere ambientale e chimico;
- prove di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi;
- n. 2 prove di carico su piastra.

Si riporta in allegato una tabella di sintesi con i risultati delle prove di laboratorio effettuate.

4.2. INDAGINI IN SITO

4.2.1. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (SPT)

Nel corso delle perforazioni di sondaggio sono state eseguite prove di resistenza dinamica tipo SPT a profondità variabile. Nella Figura 4-1 sono riportati l'insieme dei risultati di tali prove suddivisi per unità geotecniche, in termini di numero di colpi N_{SPT} . Nel grafico il rifiuto strumentale è indicato con il numero di colpi pari a 100.

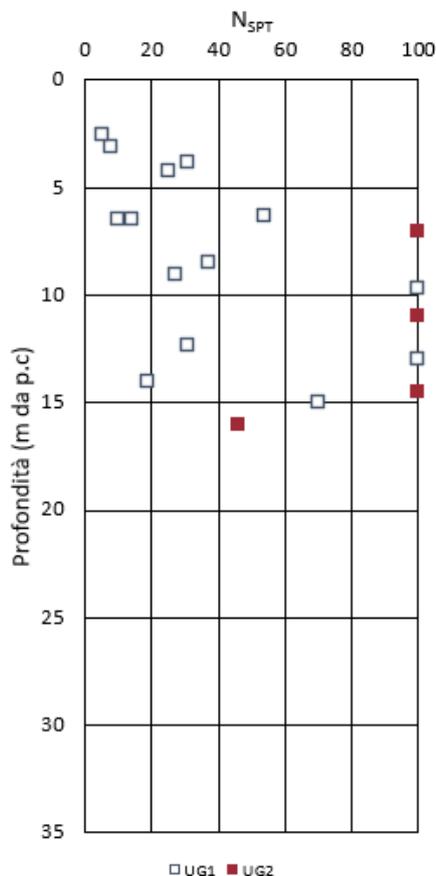


Figura 4-1 Risultati prove N_{SPT}

4.2.2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA SUPERPESANTE (DPSH)

Durante la campagna d'indagini sono state effettuate n. 3 prove DPSH. I risultati delle prove DPSH sono stati utilizzati per ricostruire la litologia del sottosuolo.

4.2.3. MISURE PIEZOMETRICHE

Durante la campagna d'indagini sono stati installati n. 3 piezometri a tubo aperto e n 1 piezometro di Casagrande. Nella **Error! Reference source not found.** si riportano i livelli di falda rilevati nell'ultimo rilievo.

Tabella 4-1 Livelli di falda in sito rilevati durante la campagna di indagini 2022

Sondaggio	Tipo di piezometro	Livello falda (m dal p.c.)
AD S02	A tubo aperto	10,7
AD S03	A tubo aperto	22,5
AD S04	A tubo aperto	21,2
AD S05	Cella Casagrande	Assente

4.3. INDAGINI SISMICHE

4.3.1. PROVA MASW

Durante la campagna d'indagini sono state eseguite n. 3 stendimenti sismici MASW.

Tabella 4-2 Elenco indagini geofisiche MASW e categorie di sottosuolo.

Prova	Opera d'arte	Lunghezza del tratto di prova (m)	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo (NTC 2018)
MASW 1	Opera di sostegno	30	316	C
MASW 2	Viadotto	30	340	C
MASW 3	Viadotto	50	355	C

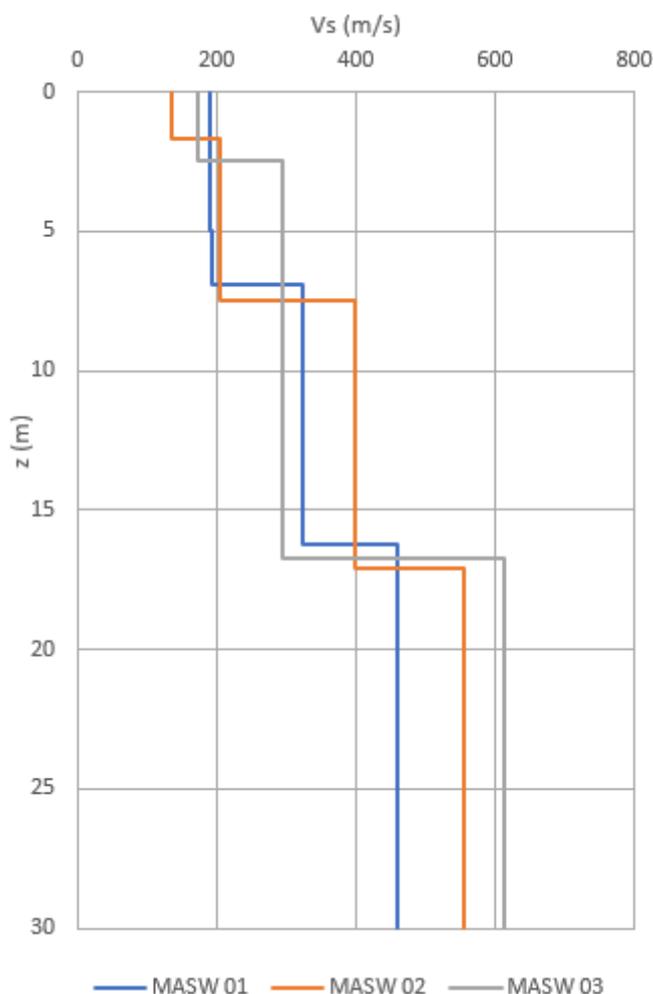


Figura 4-2 Profili V_s ottenuti da prove MASW

4.3.1. MISURE DI RUMORE SISMICO AMBIENTALE (METODO HVSR)

La campagna di indagini eseguite comprende n 3 prove HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) che permettono di stimare l'amplificazione sismica di un terreno attraverso il rapporto tra la componente spettrale orizzontale e quella verticale. Di seguito si riportano le Frequenze fondamentali di risonanza e relativa Ampiezza (F0 ed A0), delle indagini eseguite, nell'intervallo di campionamento d'interesse ingegneristico tra 0 Hz e 20 Hz ed Ampiezza superiore ad 1, ricordando che la frequenza di risonanza fondamentale è quella relativa alla frequenza più bassa.

Table 1: Misure eseguite

STAZIONE DI MISURA	f ₀ (Hz)	Probabile amplificazione	Profondità contrasto di impedenza (m)
HVSR01	2,67	No	/
HVSR02	4,89	SI	20÷30
HVSR03	32,90	No	/

4.3.1. INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDA P E IN ONDA S

Nella totalità sono stati realizzati n.3 profili sismici a rifrazione. La seguente tabella sintetizza per ogni stesa, le principali informazioni.

Table 2: Riepilogo indagini sismiche a rifrazione.

Tipologia di indagine	Coordinate		Condizioni meteo	Data acquisizione
Tomografia sismica SR_01	43.007285° 13.389815°	43.007363° 13.391291°	Poco nuvoloso	04.04.2023
Tomografia sismica SR_02	43.007828° 13.394069°	43.007852° 13.394961°	Poco nuvoloso	04.04.2023
Tomografia sismica SR_03	43.008192° 13.401930°	43.008159° 13.403577°	Poco nuvoloso	04.04.2023

4.4. PROVE DI LABORATORIO

Durante la campagna d'indagini sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio:

- determinazione della composizione granulometrica;
- determinazione del contenuto d'acqua e dei limiti di Atterberg;
- classificazione delle terre secondo CNR UNI 10006;
- determinazione del peso specifico dei grani;
- prova di taglio diretta (TD);
- prova di taglio residuo;
- prova triassiale consolidata non drenata (TxCIU);
- prova triassiale non consolidata non drenata (TxUU);
- prova edometrica.

4.5. CRITERI DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE

4.5.1. PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (SPT)

I risultati della prova SPT sono utilizzati per una stima indiretta, mediante correlazioni empiriche, della densità relativa e della resistenza a taglio dei materiali granulari. Sono utilizzate anche correlazioni per la stima del modulo elastico e della resistenza al taglio in condizioni non drenate dei terreni a grana fine.

I risultati della prova sono influenzati dalle caratteristiche del campionatore, dalle dimensioni delle aste, dal sistema di battitura, dalla tecnica di perforazione e dalle dimensioni del foro. Nel calcolo della densità relativa e dell'angolo d'attrito si applica la correzione C_N (correzione per la profondità della prova) perché tali parametri sono influenzati dalla tensione efficace agente alla quota di prova. Inoltre, il numero di colpi N_{SPT} è stato corretto per tener conto dell'efficienza del sistema di attrezzature utilizzato introducendo il coefficiente di rendimento ER:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot \frac{ER}{60} \cdot N_{SPT}$$

Per le attrezzature utilizzate in Italia si assume $ER = 60 \div 65$.

C_N è stato valutato con la relazione proposta da Liao e Whitman $C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$

Densità relativa

Per la valutazione della densità relativa si è utilizzata la correlazione proposta da Skempton (1986):

$$D_r = \left(\frac{N_1}{60} \right)^{0.5}$$

dove:

$$N_1 = \left(\frac{98}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} N_{SPT}$$

Angolo di resistenza al taglio

PROGETTAZIONE ATI:

Per la valutazione dell'angolo di resistenza al taglio si sono impiegati i diagrammi proposti da:

- Correlazione proposta nel Road Bridge Specification

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

- Correlazione di De Mello tra il valore di N_{SPT} , la tensione verticale efficace e l'angolo di resistenza al taglio di picco. Detta correlazione, in linea generale, sovrastima il valore dell'angolo di resistenza al taglio, soprattutto per bassi valori della tensione efficace verticale.

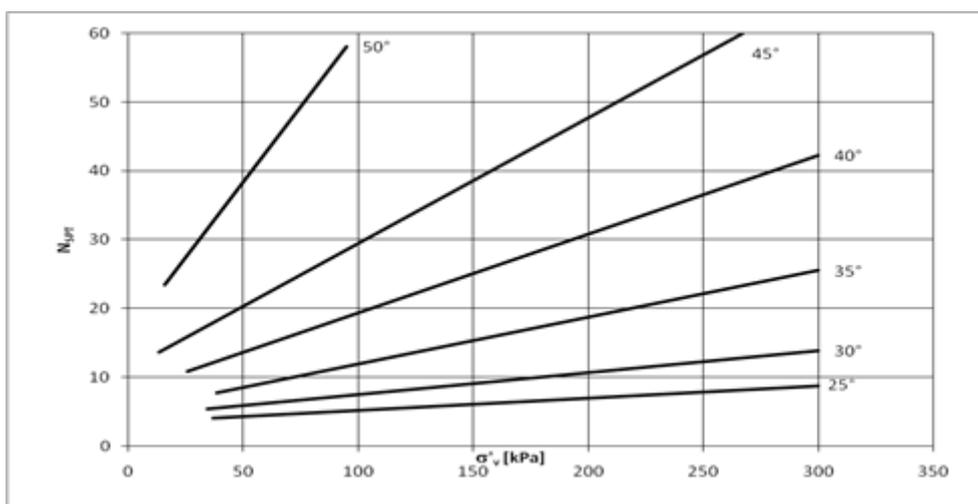


Figura 4-3 Correlazione di De Mello, fra il valore N_{SPT} , la tensione verticale efficace e l'angolo di resistenza al taglio di picco.

- Correlazione di Schmertmann (1977) in funzione della granulometria e della densità relativa, valutata in accordo con Skempton

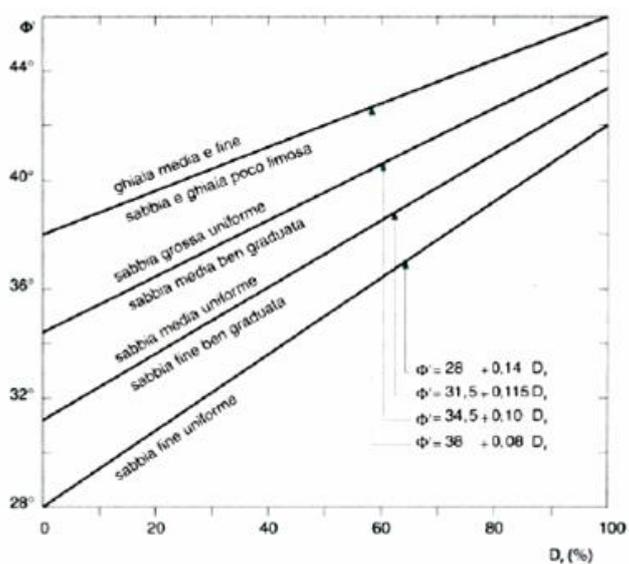


Figura 4-4 Correlazione di Schmertmann (1977) – Stima di ϕ' da D_r per differenti granulometrie.

PROGETTAZIONE ATI:

- Correlazione proposta dalla Japanese National Railway, per sabbie medio grosse e sabbie ghiaiose

$$\varphi' = 0.3 \times N_{SPT} + 27^\circ$$

- Correlazione proposta dalla Road Bridge Specification (RBS), per sabbie fini o limose

$$\varphi' = \sqrt{15 \times N_{SPT}} + 15^\circ$$

Coesione non drenata

La resistenza al taglio non drenata può essere approssimativamente stimata con la correlazione di Stroud (1974):

$$c_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

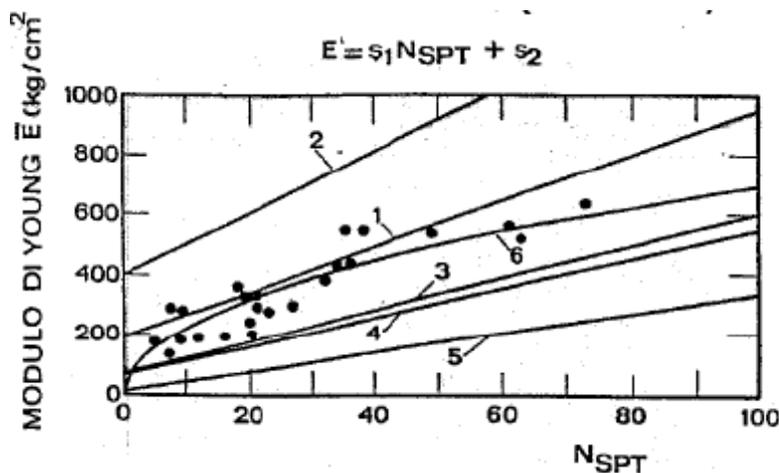
in cui f_1 è un coefficiente funzione dell'indice di plasticità, con valori compresi tra 3.5 e 6.5 kPa.

Modulo di Young

I risultati delle prove SPT sono stati interpretati adottando la correlazione di Denver, per la stima di un valore operativo del modulo di Young:

$$E = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2 \quad (\text{in MPa})$$

nella quale i parametri s_1 e s_2 sono scelti in funzione del litotipo.



Curva	Note	Riferimento	s_1	s_2
1	Sabbia e ghiaia NC	D'Apollonia et al, 1970	0,756	8,75
2	Sabbia OC	D'Apollonia et al, 1970	1,043	36,79
3	Sabbia	Schulze e Menzenbach, 1961	0,517	7,46
4	Sabbia satura	Webb, 1970	0,478	7,17
5	Sabbia argillosa	Webb, 1970	0,316	1,58
6	Terreno coesivo	D'Apollonia et al.	1,160	0,029

I risultati della prova SPT sono utilizzati per una stima indiretta, mediante correlazioni empiriche, della densità relativa e della resistenza a taglio dei materiali granulari. Sono utilizzate anche

correlazioni per la stima del modulo elastico e della resistenza al taglio in condizioni non drenate dei terreni a grana fine.

I risultati della prova sono influenzati dalle caratteristiche del campionatore, dalle dimensioni delle aste, dal sistema di battitura, dalla tecnica di perforazione e dalle dimensioni del foro. Nel calcolo della densità relativa e dell'angolo d'attrito si applica la correzione C_N (correzione per la profondità della prova) perché tali parametri sono influenzati dalla tensione efficace agente alla quota di prova. Inoltre, il numero di colpi N_{SPT} è stato corretto per tener conto dell'efficienza del sistema di attrezzature utilizzato introducendo il coefficiente di rendimento ER:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot \frac{ER}{60} \cdot N_{SPT}$$

Per le attrezzature utilizzate in Italia si assume $ER = 60 \div 65$.

C_N è stato valutato con la relazione proposta da Liao e Whitman $C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$

Densità relativa

Per la valutazione della densità relativa si è utilizzata la correlazione proposta da Skempton (1986):

$$D_r = \left(\frac{N_1}{60} \right)^{0.5}$$

dove:

$$N_1 = \left(\frac{98}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} N_{SPT}$$

Angolo di resistenza al taglio

Per la valutazione dell'angolo di resistenza al taglio si sono impiegati i diagrammi proposti da:

- Correlazione proposta nel Road Bridge Specification

$$\phi = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

- Correlazione di De Mello tra il valore di N_{SPT} , la tensione verticale efficace e l'angolo di resistenza al taglio di picco. Detta correlazione, in linea generale, sovrastima il valore dell'angolo di resistenza al taglio, soprattutto per bassi valori della tensione efficace verticale.

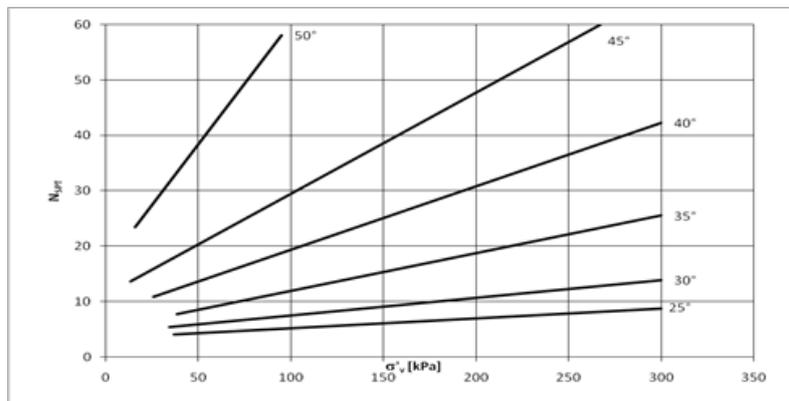


Figura 4-5 Correlazione di De Mello, fra il valore N_{SPT} , la tensione verticale efficace e l'angolo di resistenza al taglio di picco.

PROGETTAZIONE ATI:

- Correlazione di Schmertmann (1977) in funzione della granulometria e della densità relativa, valutata in accordo con Skempton

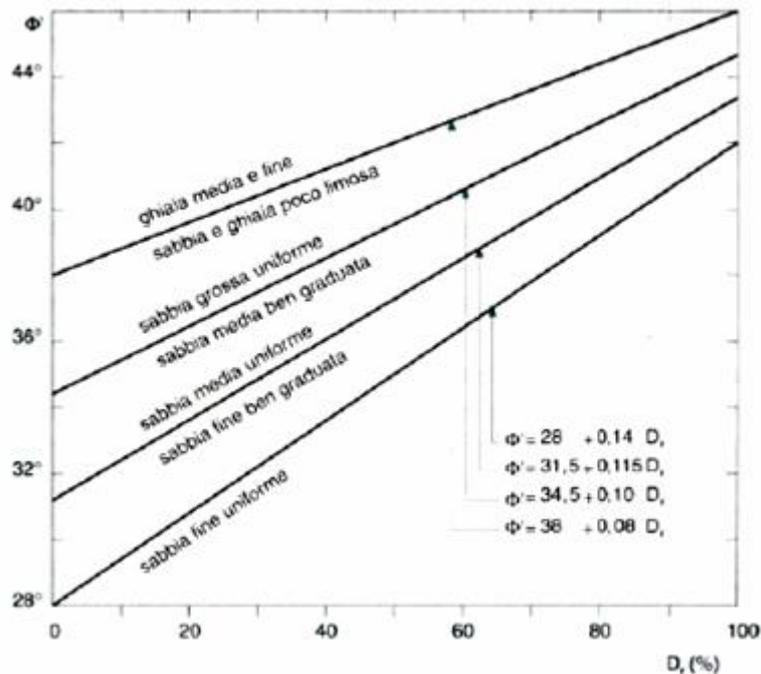


Figura 4-6 Correlazione di Schmertmann (1977) – Stima di ϕ' da D_r per differenti granulometrie.

- Correlazione proposta dalla Japanese National Railway, per sabbie medio grosse e sabbie ghiaiose

$$\phi' = 0.3 \times N_{SPT} + 27^\circ$$

- Correlazione proposta dalla Road Bridge Specification (RBS), per sabbie fini o limose

$$\phi' = \sqrt{15 \times N_{SPT}} + 15^\circ$$

Coesione non drenata

La resistenza al taglio non drenata può essere approssimativamente stimata con la correlazione di Stroud (1974):

$$c_u = f_1 \cdot N_{SPT}$$

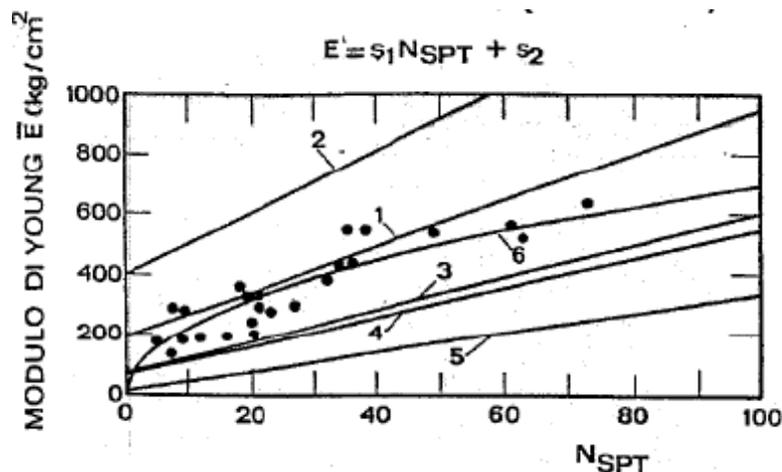
in cui f_1 è un coefficiente funzione dell'indice di plasticità, con valori compresi tra 3.5 e 6.5 kPa.

Modulo di Young

I risultati delle prove SPT sono stati interpretati adottando la correlazione di Denver, per la stima di un valore operativo del modulo di Young:

$$E = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2 \quad (\text{in MPa})$$

nella quale i parametri s_1 e s_2 sono scelti in funzione del litotipo.



Curva	Note	Riferimento	S ₁	S ₂
1	Sabbia e ghiaia NC	D'Apollonia et al, 1970	0,756	8,75
2	Sabbia OC	D'Apollonia et al, 1970	1,043	36,79
3	Sabbia	Schulze e Menzenbach, 1961	0,517	7,46
4	Sabbia satura	Webb, 1970	0,478	7,17
5	Sabbia argillosa	Webb, 1970	0,316	1,58
6	Terreno coesivo	D'Apollonia et al.	1,160	0,029

4.5.2. INDAGINI SISMICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica, i valori di V_s sono utilizzati per la valutazione del modulo di rigidezza a taglio a piccole deformazioni, G_0 , tramite la seguente formula:

$$G_0 = \rho * V_s^2$$

dove ρ è la densità di massa del terreno. Il modulo elastico a piccole deformazioni è ottenuto utilizzando la relazione:

$$E_0 = 2 * G_0(1 + \nu)$$

dove ν è il coefficiente di Poisson.

Per la determinazione dei moduli elastici operativi, si utilizzano le curve di decadimento proposte da Vucetic & Dobri (1991), riportate nella figura seguente:

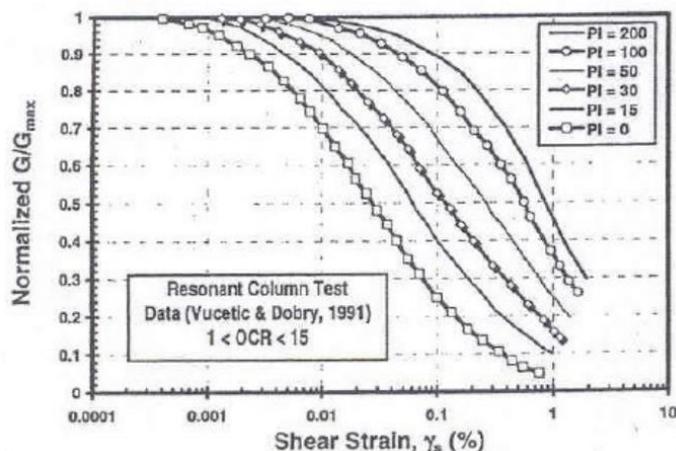


Figura 4-7: Curva di decadimento G/G_0 .

La letteratura tecnica mostra che è possibile stimare un modulo di rigidezza a taglio operativo a partire da valori di deformazioni a taglio convenzionali associati al tipo di opera (Figura 4-13):

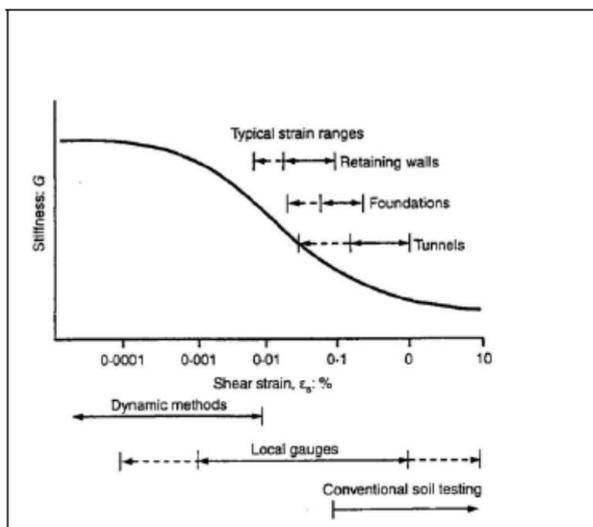


Figura 4-8: Valori di deformazioni a taglio convenzionali per diverse opere.

Per la tipologia di opere previste in questo progetto e per la natura dei terreni interagenti, si adotta un valore del modulo elastico operativo di circa 1/10 di quello ottenuto a piccole deformazioni.

5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

Nel seguito si riporta la definizione del modello geotecnico di sottosuolo. Tale modello è stato definito con riferimento al modello geologico illustrato negli elaborati specifici, considerando gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici individuati. Sono stati, inoltre, analizzati tutti i dati disponibili (rilievo geologico, risultati delle indagini in sito ed in laboratorio, rilievo della falda) per la definizione delle unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, del regime delle pressioni interstiziali e dei valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Al fine del dimensionamento delle opere si possono individuare due unità geotecniche:

- **UG1 – LIMO CON ARGILLA SABBIOSO**

L'UG 1 è costituita da depositi alluvionali attuali e terrazzati la cui granulometria è caratterizzata prevalentemente da una componente limosa e argillosa e da una debole presenza di sabbie fini. Questa unità geotecnica risulta quella più superficiale e presenta uno spessore che raggiunge i 20 m di profondità dal piano campagna.

- **UG2 – LIMO ARGILLOSO**

L'UG 2 è costituita da depositi alluvionali attuali e terrazzati ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa. Questa unità geotecnica presenta uno spessore variabile compreso tra 5 e 15 metri, raggiungendo localmente profondità dell'ordine dei 30 m.

6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Le osservazioni sperimentali ottenute dalle prove in sito e in laboratorio sono esaminate nel seguito per ciascuna unità geotecnica individuata. L'elaborazione e l'interpretazione delle prove geotecniche in sito ed in laboratorio è finalizzata alla definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici (§ 6.2).

6.1. CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI

6.1.1. UNITÀ GEOTECNICA UG1

L'UG1 è costituita da depositi alluvionali attuali e terrazzati ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa.

Nell'unità UG1 sono stati prelevati n. 12 campioni indisturbati (Q4 e Q5) e n. 1 campione rimaneggiato (Q3).

Le prove che sono state eseguite in questa formazione sono:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 12 prove SPT;
- n. 2 prove edometriche;
- n. 6 prove di taglio diretto;
- n. 1 prova di taglio residuo;
- n. 2 prove TxCIU;
- n. 3 prove TxUU;
- n. 1 campioni di terra prelevati per finalità di carattere chimico.

Caratteristiche fisiche

Granulometria e peso di volume

Le granulometrie realizzate sui campioni prelevati hanno mostrato le seguenti distribuzioni granulometriche:

- percentuale di ghiaia variabile da 0 a 6%, con un valore medio di 2%;
- percentuale di sabbia variabile da 2 a 43%, con un valore medio di 17%;
- percentuale di limo variabile da 36 a 58%, con un valore medio di 50%;
- percentuale di argilla variabile da 5 a 47%, con un valore medio di 31%

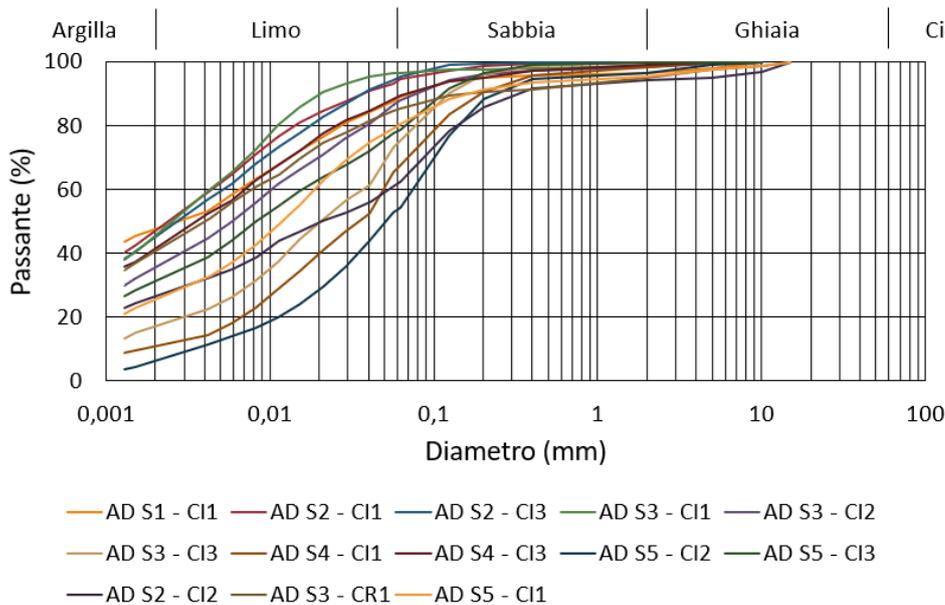


Figura 6-1: Curve granulometriche campioni unità UG1.

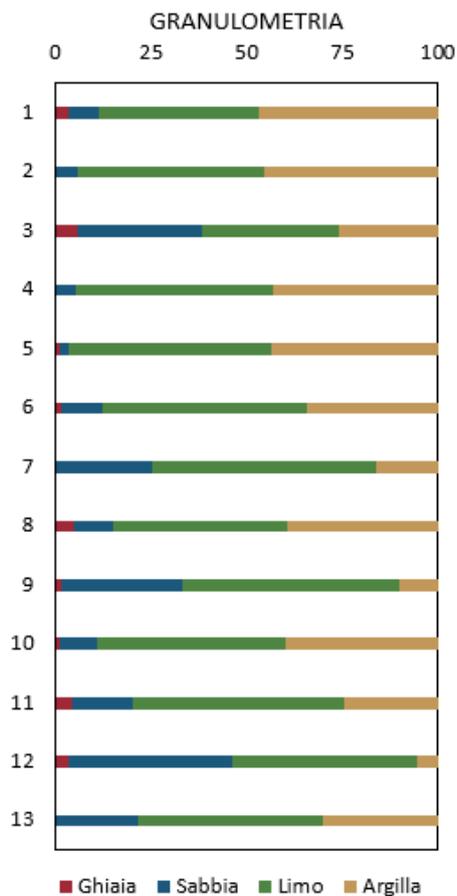


Figura 6-2: Granulometria unità UG1.

Il peso specifico dei granuli γ_s risulta variabile da 14.6 a 17 kN/m³, il peso dell'unità di volume allo stato naturale γ_n risulta variabile da 18.8 a 20.3 kN/m³

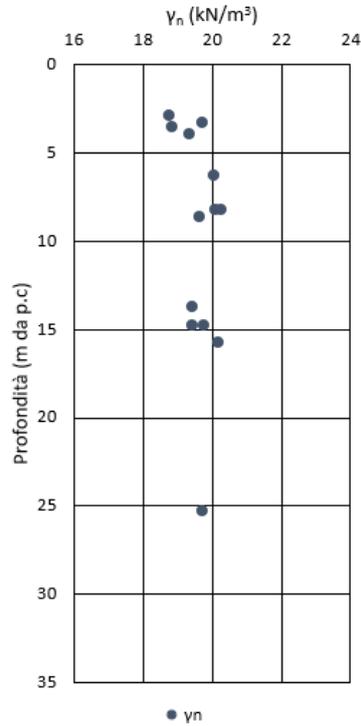


Figura 6-3 Peso di volume allo stato naturale (UG1).

Contenuto naturale d'acqua e limiti di consistenza

Contenuto d'acqua naturale	$w_n = 19 \div 28\%$
Limite liquido	$w_L = 31 \div 71\%$
Limite plastico	$w_P = 18 \div 22\%$
Indice di plasticità	$I_P = 10 \div 51\%$
Indice di consistenza	$I_C = 0.66 \div 1.03$

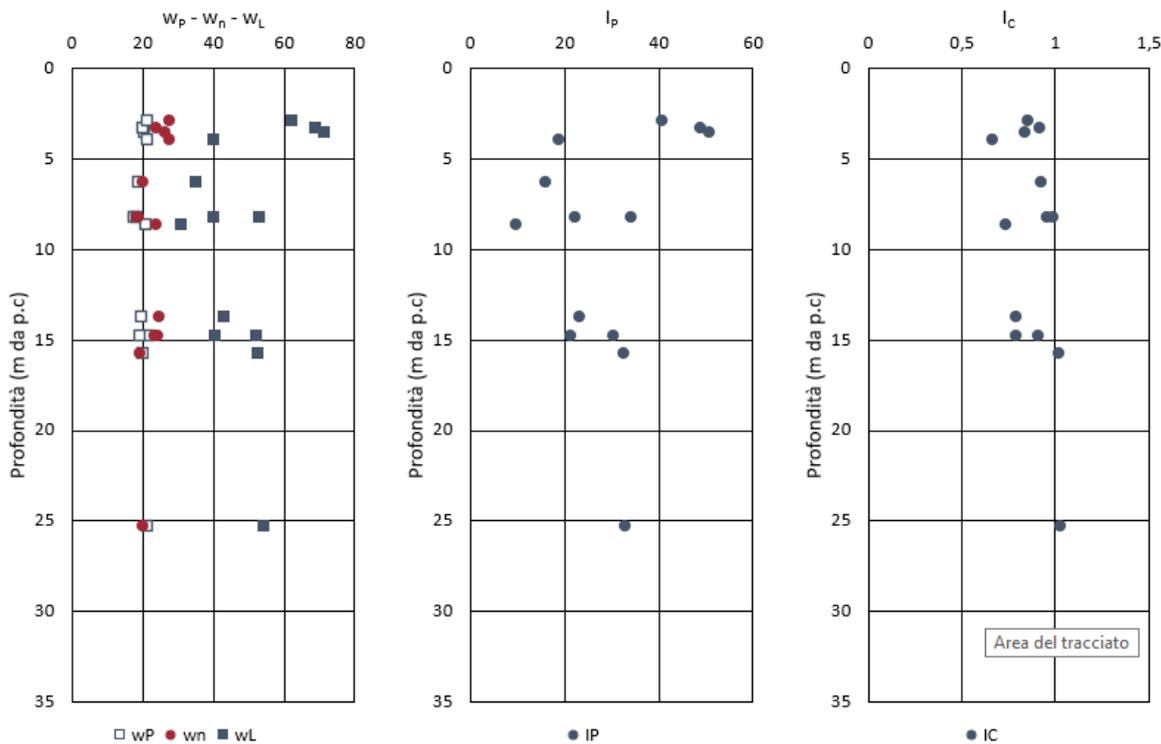


Figura 6-4 Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG1)

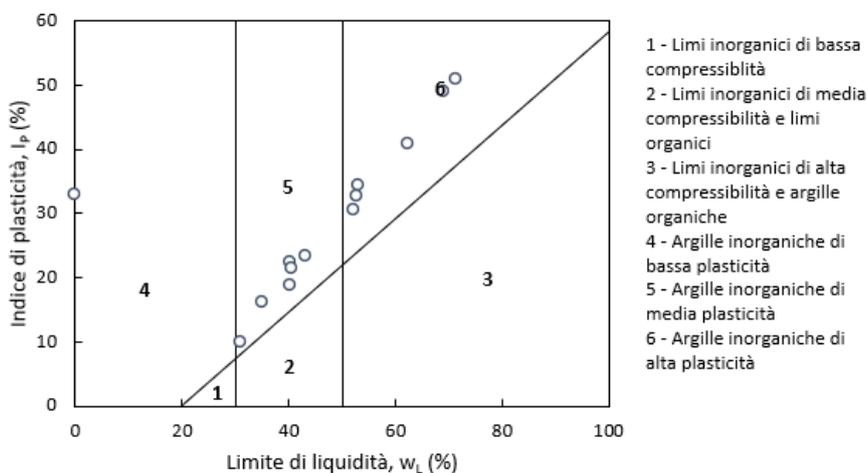


Figura 6-5 Carta di plasticità di Casagrande (UG1)

PROGETTAZIONE ATI:

Caratteristiche di resistenza in condizioni drenate

Di seguito si riportano i risultati delle prove laboratorio e l'interpretazione delle prove in sito in termini di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio.

Prova di taglio diretto TD

Coesione efficace $c' = 6 \div 71$ kPa

Angolo d'attrito $\varphi' = 12^\circ \div 26^\circ$

Prova triassiale TxCIU

Coesione efficace $c' = 23$ kPa

Angolo d'attrito $\varphi' = 26^\circ$

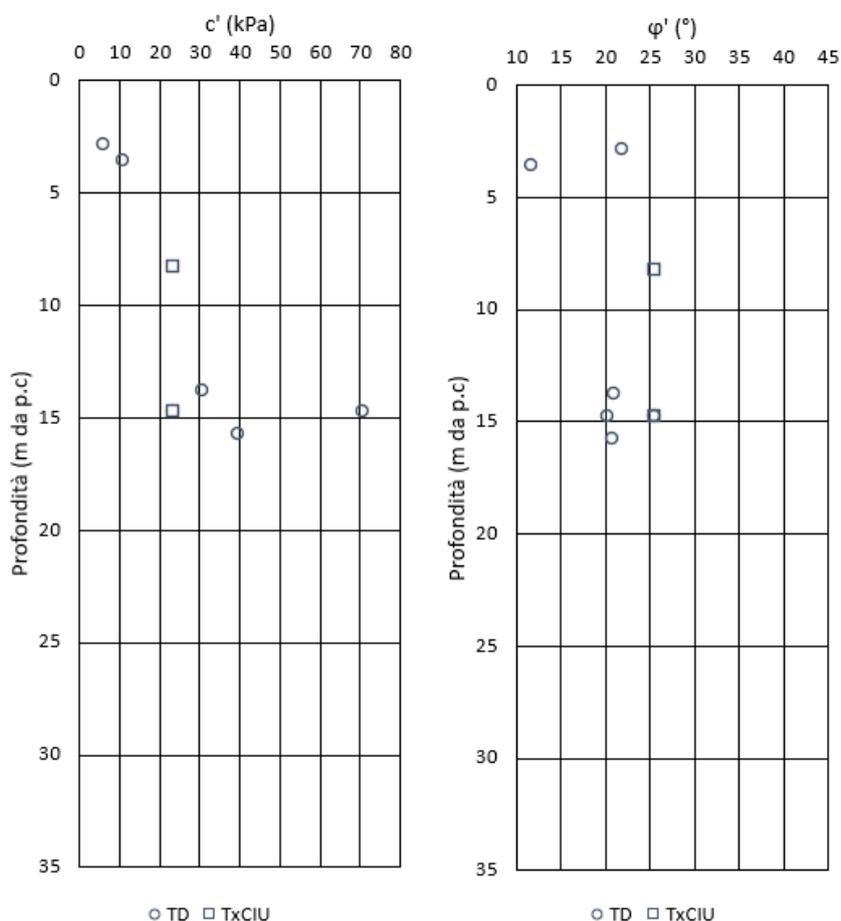


Figura 6-6 Caratteristiche meccaniche da prove di laboratorio (UG1)

Prova penetrometrica dinamica (SPT)

Angolo d'attrito

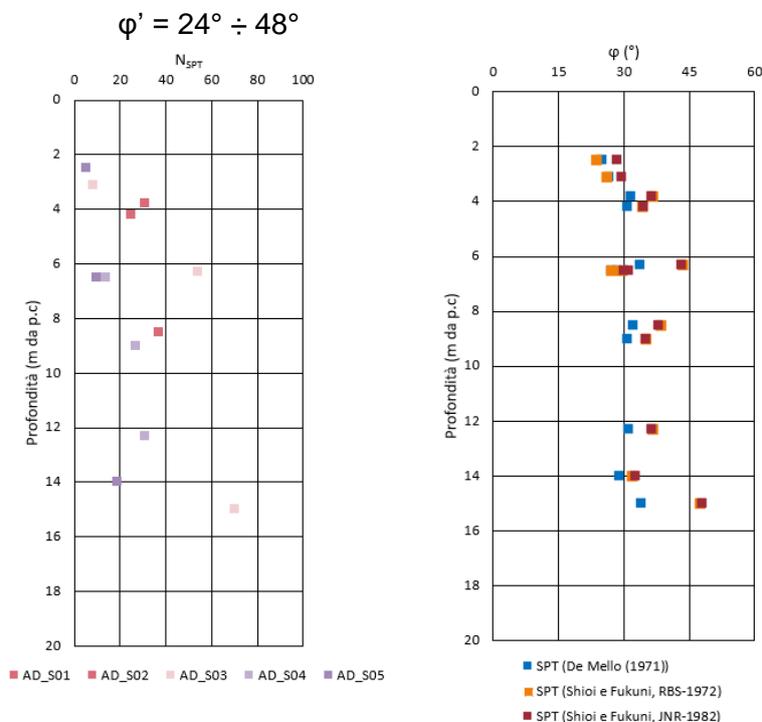


Figura 6-7 Risultati prove SPT (UG1): Numero di colpi (Nspt); valori di angolo d'attrito (ϕ').

Come si può notare, l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche che non hanno dato rifiuto restituisce un valore dell'angolo d'attrito compreso 24° e 48° . Tenendo conto che l'interpretazione delle prove SPT non permette di tenere conto della componente coesiva della resistenza, il numero di angolo d'attrito stimato si intende come un valore che racchiude in sé anche l'effetto di tale componente. Per la verifica delle fondazioni geotecniche e il dimensionamento degli interventi previsti in questa fase progettuale, si può procedere assegnando un valore di coesione diverso da zero all'UG1, valutando poi il valore dell'angolo d'attrito che per lo stato tensionale tipico della specifica opera in progetto restituisce un criterio di resistenza equivalente (cfr. **Error! Reference source not found.** retta di colore rosso). Lo stato tensionale a cui si fa riferimento è quello che si ha circa nella mezzeria dello spessore dello strato indagato. Visto il materiale in esame, valori ragionevoli da adottare possono essere:

Coesione efficace $c' = 10 \div 16$ kPa
 Angolo d'attrito $\phi' = 22^\circ \div 26^\circ$

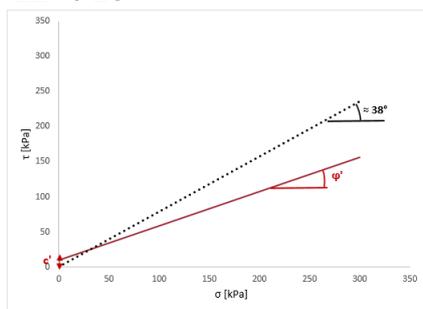


Figura 6-8: Interpretazione prova SPT.

PROGETTAZIONE ATI:

Caratteristiche di resistenza residua in condizioni drenate

La prova di taglio residuo effettuata su un provino ha fornito i seguenti risultati in termini di coesione residua e angolo di resistenza al taglio residua:

Prova di taglio TD(residuo)

Coesione efficace $c'_{res} = 4 \text{ kPa}$

Angolo d'attrito $\varphi'_{res} = 14^\circ$

Caratteristiche di resistenza in condizioni non drenate

Per la determinazione del valore della coesione non drenata sono stati considerati i risultati delle prove triassiali TxUU e i risultati delle prove SPT, interpretate secondo le correlazioni di Shoi e Fukuni (1982).

Prova di taglio TxUU

Coesione efficace $c_u = 59 \div 192 \text{ kPa}$

Prova penetrometrica dinamica (SPT)

Coesione efficace $c_u = 13 \div 250 \text{ kPa}$

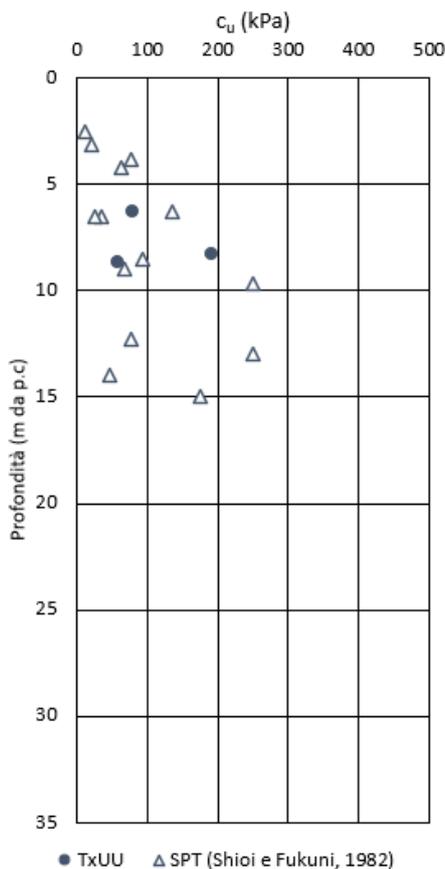


Figura 6-9: Caratteristiche di resistenza non drenata da prove in sito e laboratorio (UG1).

PROGETTAZIONE ATI:

Caratteristiche di deformabilità

Per la determinazione del valore operativo del modulo elastico sono stati considerati i risultati delle prove SPT, interpretate secondo le correlazioni di D'Apollonia et al. (1970) e AASHTO (1966) (§Error! Reference source not found.).

Prova penetrometrica dinamica (SPT)

Modulo di Young [D'Apollonia et al. (1970)] $E = 23 \div 96 \text{ MPa}$

Modulo di Young [AASHTO (1966)] $E = 2 \div 43 \text{ MPa}$

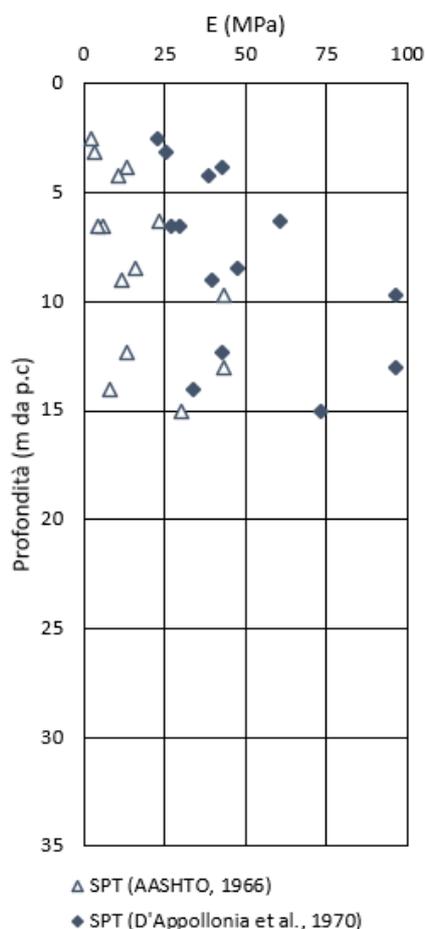


Figura 6-10 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG1).

6.1.2. UNITÀ GEOTECNICA UG2

L'UG2 è costituita da depositi di litofacies evaportico arenacea ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa.

Nell'unità UG2 sono stati prelevati n. 1 campioni indisturbati (Q5) e n. 3 campione rimaneggiato (Q3).

Le prove che sono state eseguite in questa formazione sono:

- n. 5 sondaggi a carotaggio continuo;
- n. 1 prove SPT;
- n. 2 prove di taglio.

Caratteristiche fisiche

Granulometria e peso di volume

Le granulometrie realizzate sui campioni prelevati hanno mostrato le seguenti distribuzioni granulometriche:

- percentuale di ghiaia variabile da 0 a 1%, con un valore medio di 0.3%;
- percentuale di sabbia variabile da 1 a 14%, con un valore medio di 5%;
- percentuale di limo variabile da 51 a 64%, con un valore medio di 55%;
- percentuale di argilla variabile da 22 a 48%, con un valore medio di 40%.

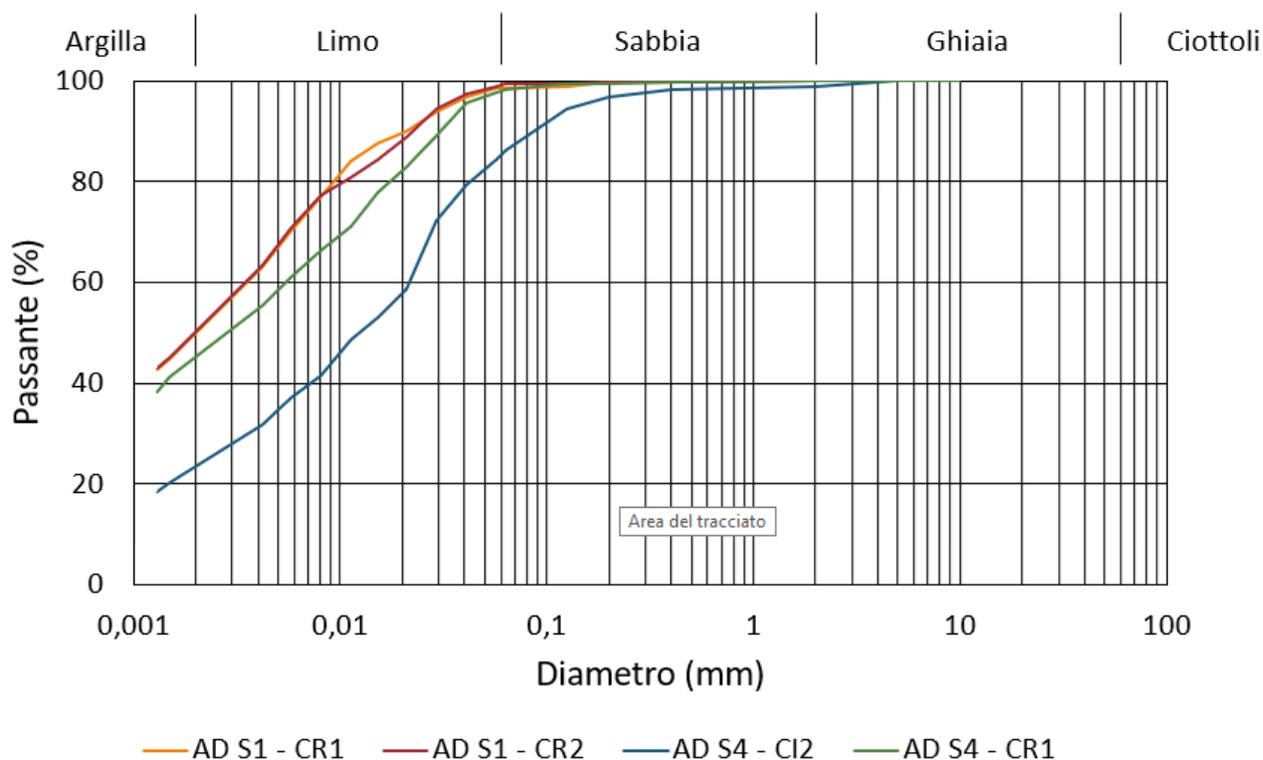


Figura 6-11: Curva granulometrica campioni UG2.

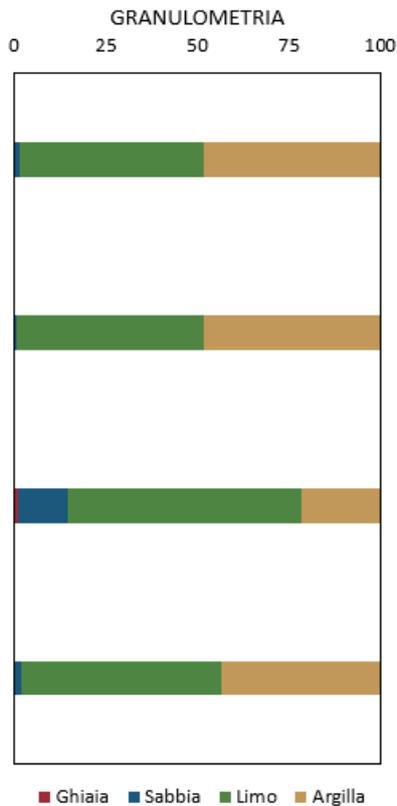


Figura 6-12: Granulometria unità UG2.

Il peso specifico dei granuli γ_s risulta variabile da 15.8 a 20.3 kN/m³, il peso dell'unità di volume allo stato naturale γ_n risulta variabile da 19.4 a 19.9 kN/m³

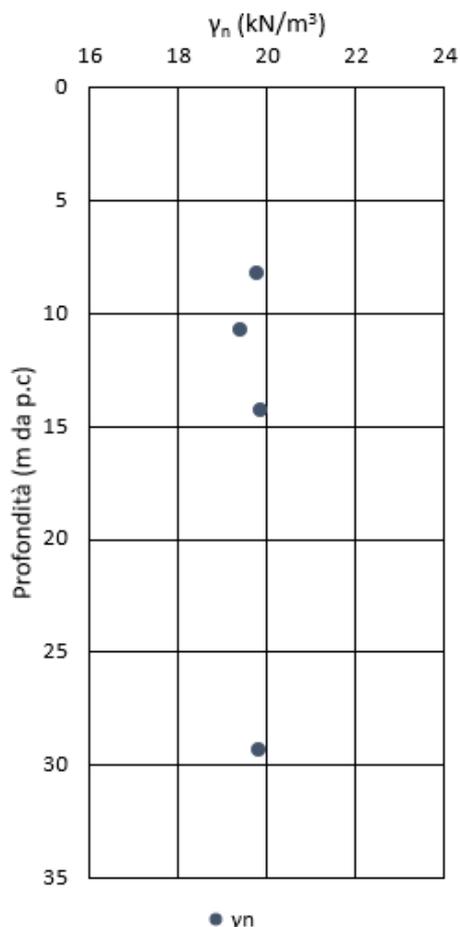


Figura 6-13 Peso di volume allo stato naturale (UG2).

Contenuto naturale d'acqua e limiti di consistenza

Contenuto d'acqua naturale	$w_n = 19 \div 23\%$
Limite liquido	$w_L = 52 \div 55\%$
Limite plastico	$w_P = 19 \div 21\%$
Indice di plasticità	$I_P = 31 \div 36\%$
Indice di consistenza	$I_C = 0.91 \div 1.04$

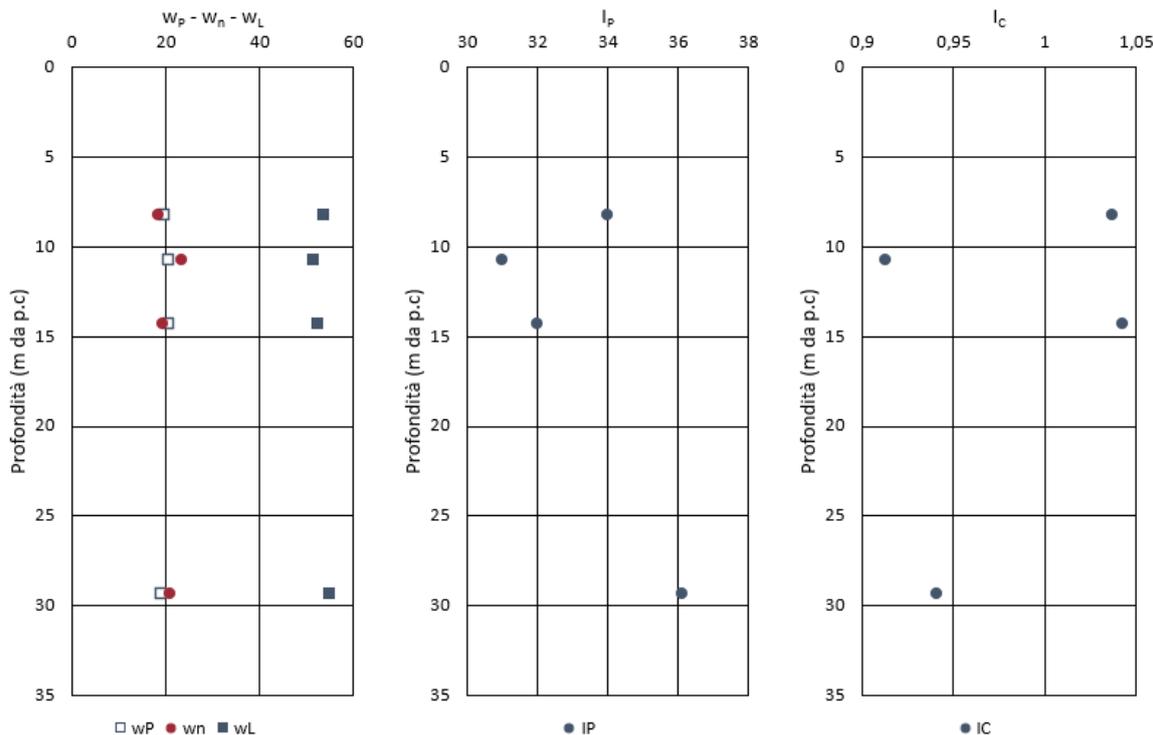


Figura 6-14 Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG2).

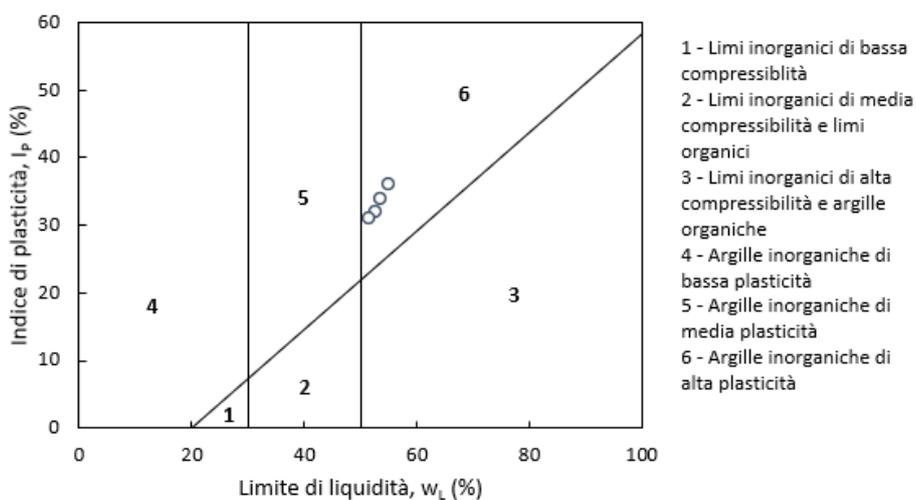


Figura 6-15 Carta di plasticità di Casagrande (UG2).

PROGETTAZIONE ATI:

Caratteristiche di resistenza in condizioni drenate

Di seguito si riportano i risultati delle prove laboratorio e l'interpretazione delle prove in sito in termini di coesione efficace e angolo di resistenza al taglio.

Prova di taglio diretto TD

Coesione efficace $c' = 18 \div 56 \text{ kPa}$

Angolo d'attrito $\varphi' = 20^\circ \div 21^\circ$

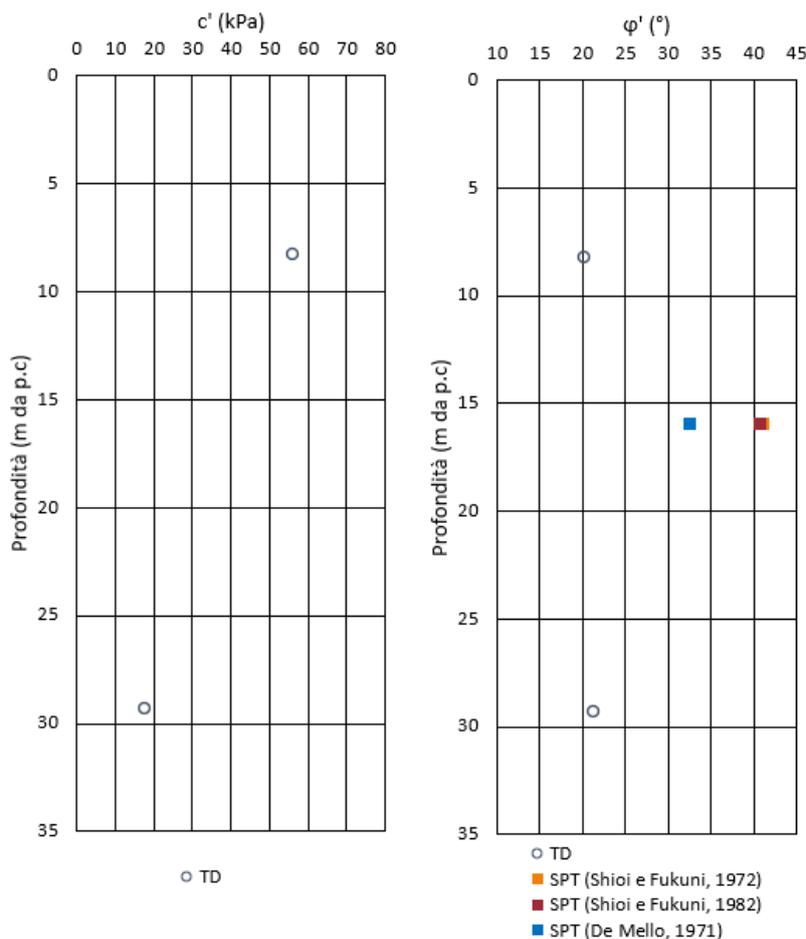


Figura 6-16 Caratteristiche meccaniche da prove in sito e laboratorio (UG2).

Come si può notare, l'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche che non hanno dato rifiuto restituisce un valore dell'angolo d'attrito compreso 33 e 41°. Nel caso di terreni coesivi, l'interpretazione delle prove SPT non permette di tenere conto della componente coesiva della resistenza, infatti, il valore dell'angolo d'attrito stimato tramite le relazioni proposte in letteratura racchiude in sé anche l'effetto di tale componente; pertanto il valore dell'angolo di attrito risulta essere sovrastimato. La disponibilità di un'unica prova SPT per l'unità UG2 non ci permette di svolgere un'analisi in modo tale di distinguere le due componenti della resistenza e ottenere un valore dell'angolo d'attrito e della coesione efficace più ragionevoli.

Per l'unità UG2 non si è tenuto conto dei risultati ottenuti dalla prova SPT in quanto sovrastima l'angolo di resistenza al taglio.

Caratteristiche di resistenza in condizioni non drenate

Per la determinazione del valore della coesione non drenata sono stati considerati i risultati delle prove triassiali TxUU e i risultati delle prove SPT, interpretate secondo le correlazioni di Shoi e Fukuni (1982).

Prova di taglio TxUU

Coesione efficace $c_u = 163 \text{ kPa}$

Prova penetrometrica dinamica (SPT)

Coesione efficace $c_u = 29 \div 84 \text{ kPa}$

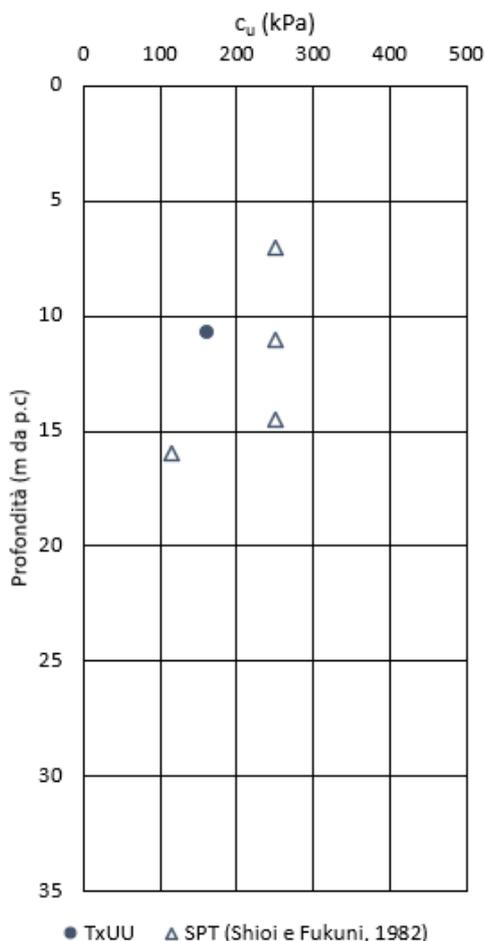


Figura 6-17: Caratteristiche di resistenza non drenata da prove in sito e laboratorio (UG2).

Caratteristiche di deformabilità

Per la determinazione del valore operativo del modulo elastico sono stati considerati i risultati delle prove SPT, interpretate secondo le correlazioni di D'Apollonia et al. (1970) e AASHTO (1966) (§Error! Reference source not found.).

Prova penetrometrica dinamica (SPT)

Modulo di Young [D'Apollonia et al. (1970)] $E = 55 \div 96 \text{ MPa}$

Modulo di Young [AASHTO (1966)] $E = 20 \div 43 \text{ MPa}$

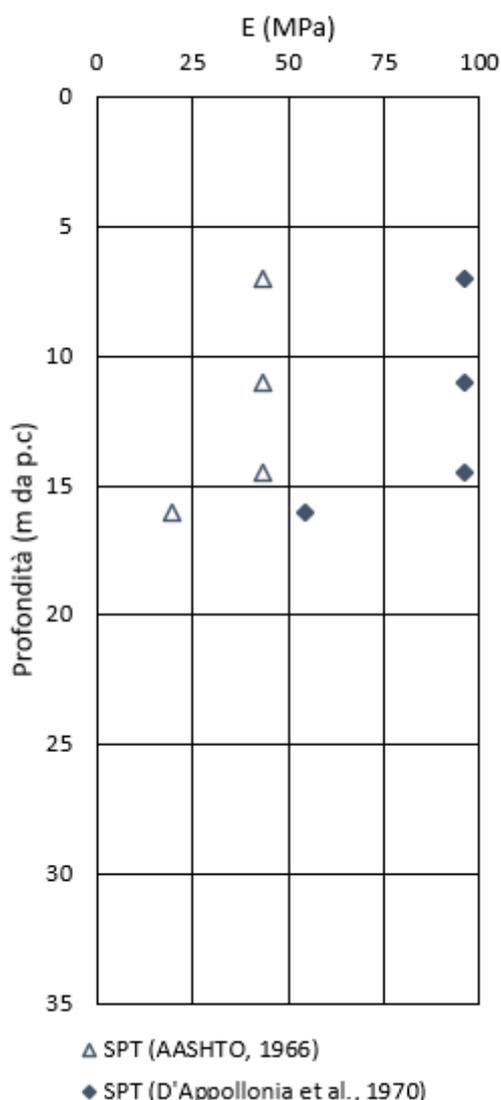


Figura 6-18 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG2).

6.2. PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Con riferimento ai terreni precedentemente individuati si è proceduto a definire le caratteristiche fisico-meccaniche combinando i risultati delle prove di laboratorio e delle indagini in sito svolte nel corso delle diverse campagne d'indagini, mediante correlazioni proposte in letteratura e già ampiamente verificate sul piano sperimentale.

Sono stati quindi definiti per ciascuna unità geotecnica i valori caratteristici dei parametri di resistenza e deformabilità da utilizzare nelle varie verifiche geotecniche.

Tabella 6-1: Sintesi parametri caratteristici.

UG	Descrizione	γ_n	c'	φ'	c_u	E
		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)	(MPa)
1	Limo con argilla sabbioso	19 ÷ 20	10 ÷ 30	20 ÷ 25	50 ÷ 150	25 ÷ 50
2	Limo argilloso	19 ÷ 20	20 ÷ 50	20 ÷ 25	200÷300	50 ÷ 100

7. AZIONI SISMICHE

La definizione dei parametri sismici caratteristici dell'area sede delle opere in progetto è stata eseguita in accordo con la normativa italiana NTC18. Per i dettagli si rimanda alla relazione sismica (T01GE00GEORE06A).

Si riportano di seguito i parametri utilizzati per l'analisi sismica.

Coordinate del sito:

- Lat: 43°0'26.88";
- Long: 13°23'19.04".

Parametri sismici:

- Vita nominale (Tab. 2.4.I):
Vn=50 anni
- Coefficiente d'uso IV (§ 2.4.2; Tab. 2.4.II):
Cu=2
- Periodo di riferimento (§ 2.4.3):
Vr = 100 anni.
- Categoria sottosuolo:
C
- Categoria topografica:
T1

8. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE E SOLUZIONI TECNICHE ADOTTATE

Con gli interventi previsti nel terzo stralcio si intendono sistemare le forti tortuosità che la 210 compie in corrispondenza del ramo laterale di San Ruffino. Lungo il tracciato, che sviluppa in totale su 1400m, sono previste le seguenti opere: una galleria artificiale, un viadotto e due opere di sostegno. Nei seguenti paragrafi vengono illustrate le diverse tipologie di opere previste e le soluzioni tecniche adottate.

8.1. RILEVATI

I rilevati presentano scarpate con pendenda 3/2 (H/V). Per altezze del rilevato superiori ai 6m è prevista una berma di larghezza 2m.

8.1.1. ANALISI DI STABILITÀ

Di seguito si riporta la verifica di stabilità (in condizioni statiche e in condizioni sismiche) del rilevato per la sezione tipologica più significativa, caratterizzata da un'altezza di 5.5m .

In condizioni statiche, le verifiche sono effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I **Error! Reference source not found.**

In condizioni sismiche, le verifiche di sicurezza (SLV) sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1,2$.

I parametri fisico-meccanici assunti per il terreno di base del rilevato stradale sono quelli caratteristici dell'unità geotecnica UG1, mentre per il materiale che costituisce il rilevato stradale si assumono i seguenti parametri geotecnici:

	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Rilevato stradale	20,00	0	35

Per la valutazione dei coefficienti sismici k_h e k_v si sono considerati i seguenti parametri:

	Probabilità di superamento (%)	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_{c^*} (s)
SLV	10	949	0,300	2,387	0,333

COEFFICIENTI SISMICI RILEVATI

	S_s (-)	C_c (-)	S_T (-)	k_h (-)	k_v (-)	a_{max} (m/s ²)	β_s (s)
SLV	1,00	1,510	1,00	0,145	0,072	3,340	0,380

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità globale del rilevato stradale considerando le superfici di rottura che interessano il corpo del rilevato e il terreno di fondazione.

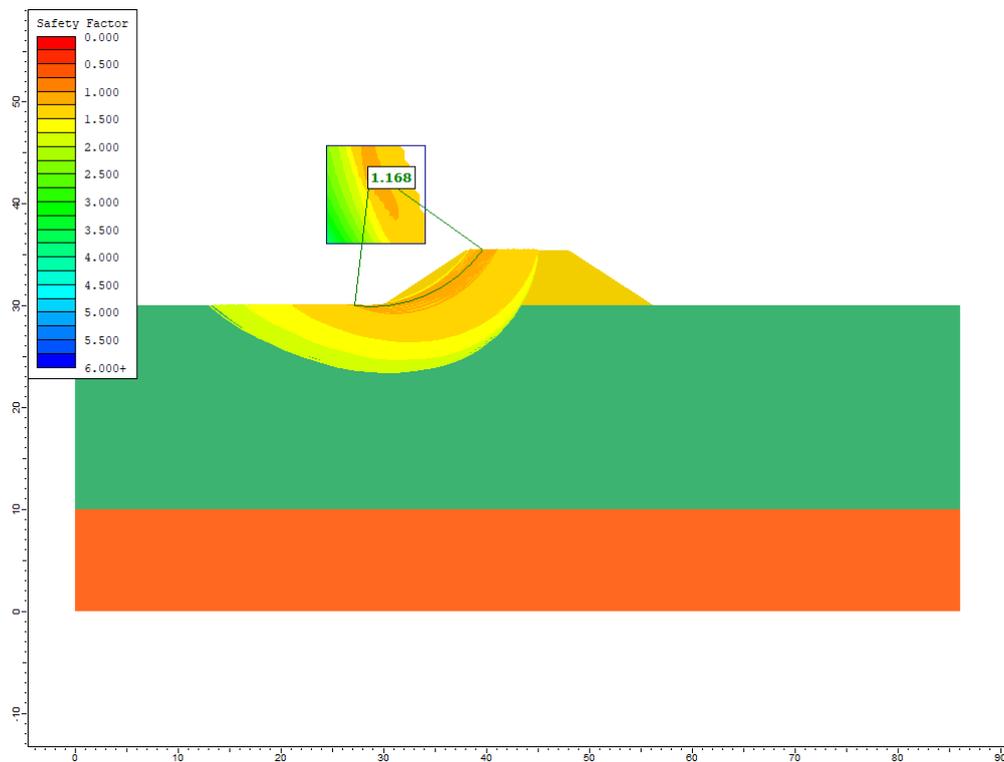


Figura 8-1 Verifica di stabilità globale in condizioni statiche (FS = 1,168).

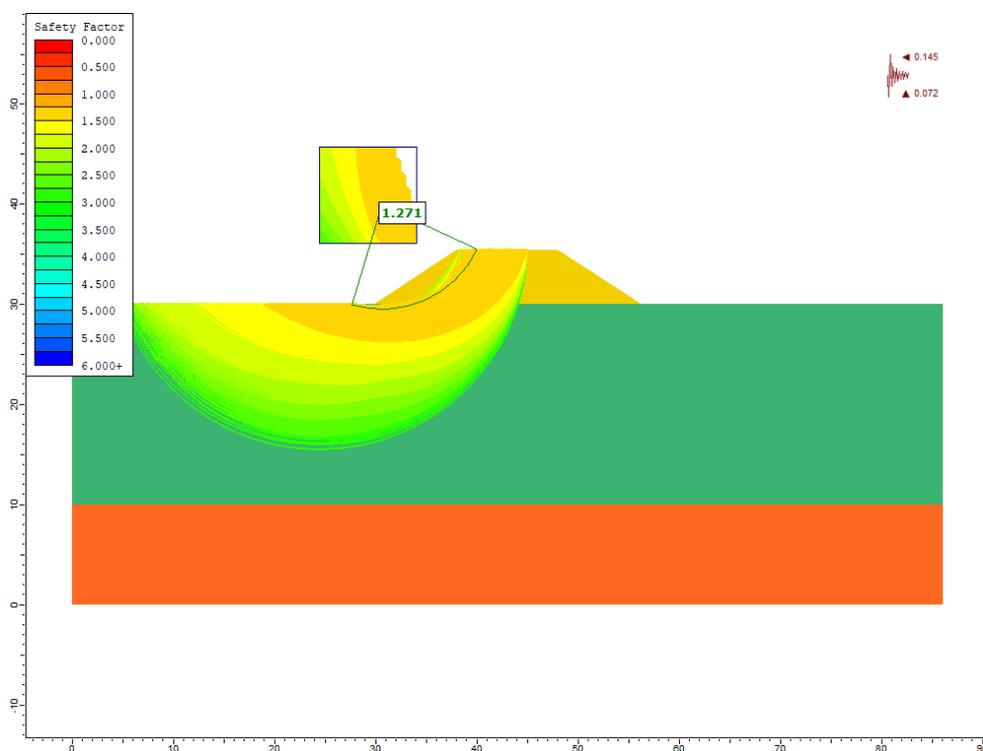


Figura 8-2 Verifica di stabilità globale in condizioni dinamiche (FS = 1.271).

Le verifiche di sicurezza risultano soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

8.2. TRINCEE

Le trincee stradali presentano scarpate con pendenza 3/2 (H/V). Per altezze superiori ai 6m è prevista una berma di larghezza 2m.

8.2.1. ANALISI DI STABILITÀ

Di seguito si riporta la verifica di stabilità (in condizioni statiche e in condizioni sismiche) della trincea per la sezione tipologica più significativa, caratterizzata da un'altezza di 5.5m .

In condizioni statiche, le verifiche sono effettuate secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I **Error! Reference source not found.**

In condizioni sismiche, le verifiche di sicurezza (SLV) sono eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1,2$.

I parametri fisico-meccanici assunti per il terreno di base del rilevato stradale sono quelli caratteristici dell'unità geotecnica UG1, mentre per il materiale che costituisce il rilevato stradale si assumono i seguenti parametri geotecnici:

	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
Rilevato stradale	20,00	0	35

Per la valutazione dei coefficienti sismici k_h e k_v si sono considerati i seguenti parametri:

	Probabilità di superamento (%)	T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
SLV	10	949	0,300	2,387	0,333

COEFFICIENTI SISMICI RILEVATI

	S_s (-)	C_c (-)	S_T (-)	k_h (-)	k_v (-)	a_{max} (m/s ²)	β_s (s)
SLV	1,00	1,510	1,00	0,145	0,072	3,340	0,380

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità globale della trincea stradale considerando le superfici di rottura che interessano le scarpate laterali e il terreno di fondazione.

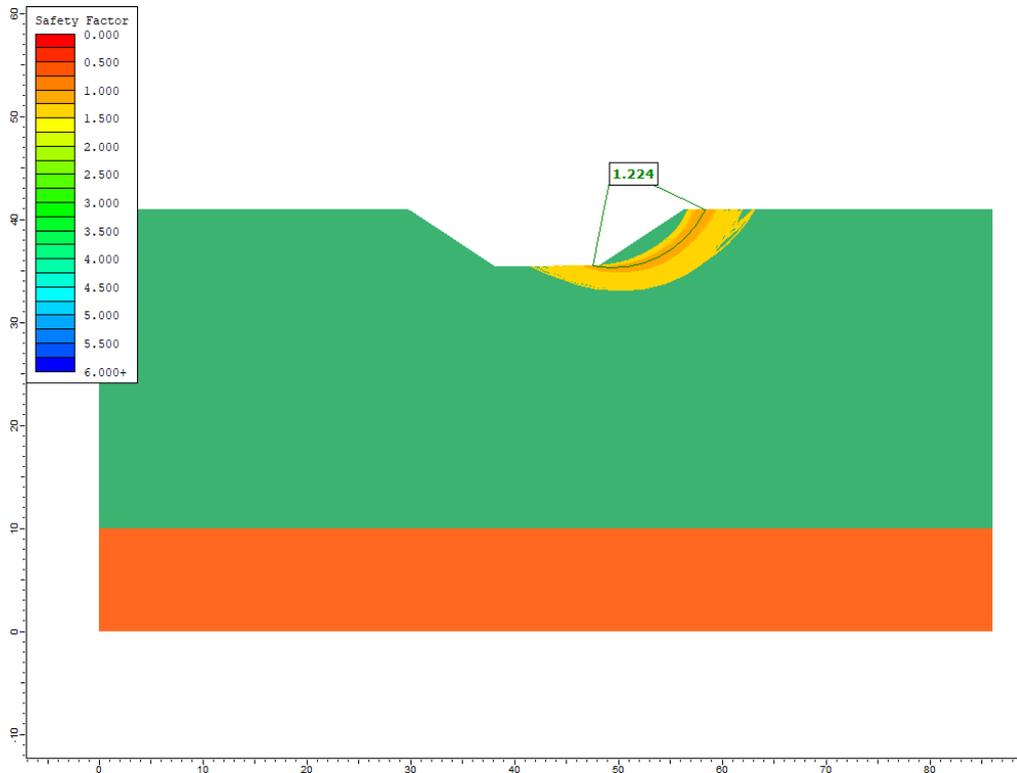


Figura 8-3 Verifica di stabilità globale in condizioni statiche (FS = 1,224).

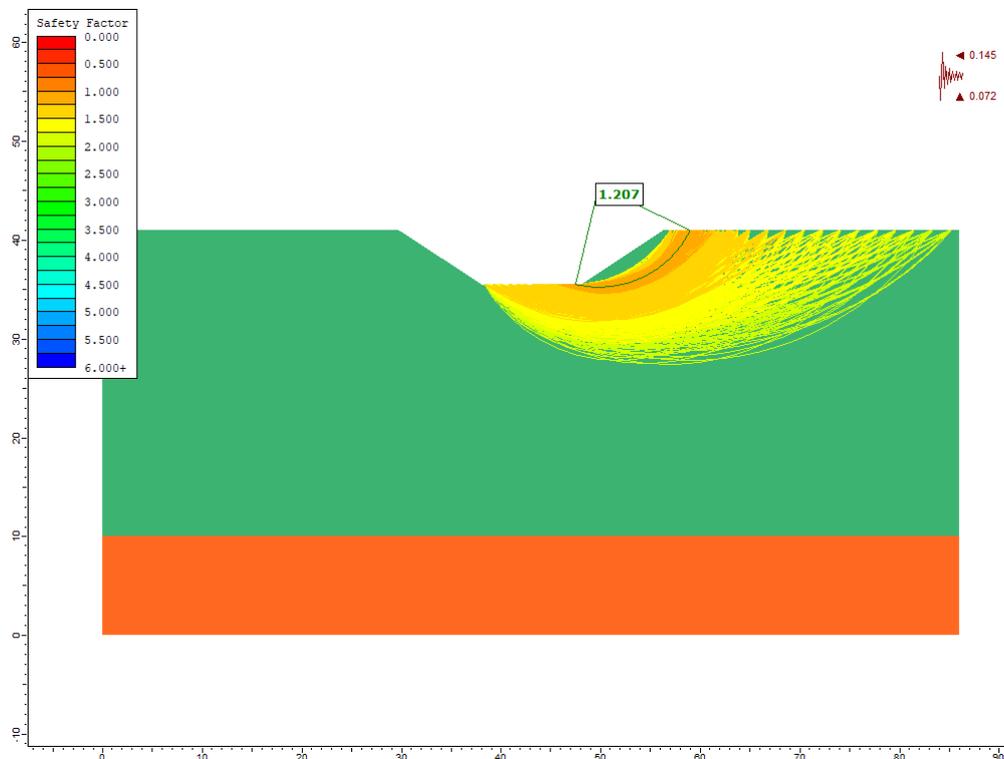


Figura 8-4 Verifica di stabilità globale in condizioni dinamiche (FS = 1,207).

Le verifiche di sicurezza risultano soddisfatte.

PROGETTAZIONE ATI:

8.3. OPERE D'ARTE

Lungo il tracciato è previsto l'inserimento di una galleria artificiale, di un viadotto e di due opere di sostegno.

L'inserimento della galleria artificiale è previsto tra la pk 0+180.00 e la pk 0+240.00 per una lunghezza complessiva di 60m. Per il dimensionamento e i calcoli delle verifiche si rimanda all'elaborato T01GA01STRRE01A.

Si riporta di seguito la sezione tipo della galleria artificiale.

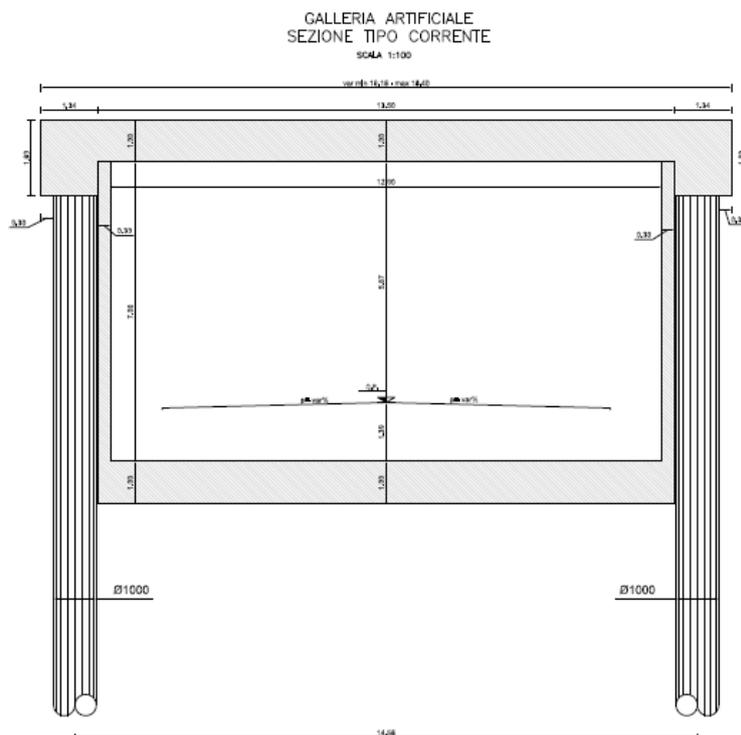


Figura 8-5: Sezione tipo galleria artificiale.

L'inserimento del viadotto è previsto tra la ok 0+320.00 e la pk 0+450.00 per una lunghezza complessiva di 130m. Per le fondazioni si prevedono pali molto lunghi di lunghezza media pari a 37.00m e di diametro pari a 1.20m. Per la planimetria e il prospetto dell'opera si rimanda agli elaborati T01VI01STRPF01A e T01VI02STRPF02A.

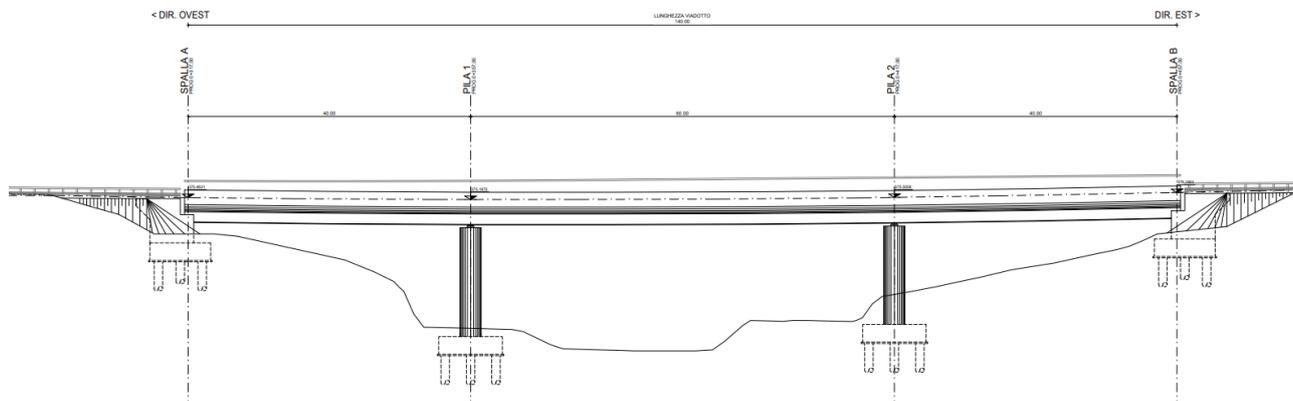


Figura 8-6: Prospetto del viadotto.

PROGETTAZIONE ATI:

9. ALLEGATI

Si riportano in allegato:

- I risultati delle prove di laboratorio;
- I risultati delle analisi di stabilità per il rilevato stradale;
- I risultati delle analisi di stabilità per la trincea stradale.

9.1. ALLEGATO 1

Slide Analysis Information

Rilevato

Project Summary

File Name: Rilevato.slmd
Slide Modeler Version: 9.02
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 30/05/2023, 10:34:41

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Analisi globale statica 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.168350	00h:00m:00.125s
Analisi globale dinamica 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.271470	00h:00m:00.105s

Design Standard

◆ Analisi globale statica

Selected Type:	Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2
Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

All Open Scenarios

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Seismic Loading

◆ Analisi globale statica

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No

◆ Analisi globale dinamica

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No
Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.145
Seismic Load Coefficient (Vertical):	-0.072

Loading

◆ **Analisi globale statica**

Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	20
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Variable

◆ **Analisi globale dinamica**

Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	4
Orientation:	Normal to boundary

Materials

Rilevato

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	35
Water Surface	Assigned per scenario
Ru Value	0

UG1

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19
Cohesion [kPa]	10
Friction Angle [deg]	20
Water Surface	Assigned per scenario
Ru Value	0

UG2

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19
Cohesion [kPa]	20
Friction Angle [deg]	20
Water Surface	Assigned per scenario
Ru Value	0

Materials In Use

	Material	Analisi globale statica	Analisi globale dinamica
Rilevato		✓	✓
UG1		✓	✓
UG2		✓	✓

Global Minimums

◆ Analisi globale statica

Method: bishop simplified

FS	1.168350
Center:	28.697, 43.347
Radius:	13.441
Left Slip Surface Endpoint:	27.113, 30.000
Right Slip Surface Endpoint:	39.606, 35.495
Resisting Moment:	2501.02 kN-m
Driving Moment:	2140.64 kN-m
Total Slice Area:	14.203 m ²
Surface Horizontal Width:	12.4926 m
Surface Average Height:	1.13692 m

◆ Analisi globale dinamica

Method: bishop simplified

FS	1.271470
Center:	30.617, 39.986
Radius:	10.422
Left Slip Surface Endpoint:	27.635, 30.000
Right Slip Surface Endpoint:	40.021, 35.494
Resisting Moment:	2996.93 kN-m
Driving Moment:	2357.06 kN-m
Total Slice Area:	22.8147 m ²
Surface Horizontal Width:	12.3866 m
Surface Average Height:	1.84188 m

Slice Data

◆ Analisi globale statica

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.16835

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.243632	0.0616949	-6.2439	UG1	8	16.2343	7.10392	8.29986	1.02984	0	1.02984	0.252595	0.252595
2	0.243632	0.174708	-5.20009	UG1	8	16.2343	7.1889	8.39915	1.37082	0	1.37082	0.716564	0.716564
3	0.243632	0.267021	-4.15801	UG1	8	16.2343	7.25169	8.47251	1.62276	0	1.62276	1.09557	1.09557
4	0.243632	0.338725	-3.11731	UG1	8	16.2343	7.29266	8.52038	1.78715	0	1.78715	1.38999	1.38999
5	0.243632	0.389891	-2.07764	UG1	8	16.2343	7.31215	8.54315	1.86538	0	1.86538	1.60011	1.60011
6	0.243632	0.42057	-1.03865	UG1	8	16.2343	7.31048	8.5412	1.85868	0	1.85868	1.72615	1.72615
7	0.243632	0.430794	0	UG1	8	16.2343	7.28794	8.51486	1.76822	0	1.76822	1.76822	1.76822
8	0.243632	0.42057	1.03865	UG1	8	16.2343	7.24477	8.46443	1.59501	0	1.59501	1.72636	1.72636
9	0.243632	0.389891	2.07764	UG1	8	16.2343	7.18122	8.39018	1.34002	0	1.34002	1.60054	1.60054
10	0.243632	0.338725	3.11731	UG1	8	16.2343	7.0975	8.29237	1.00409	0	1.00409	1.39063	1.39063
11	0.243632	0.268222	4.15801	UG1	8	16.2343	6.99501	8.17262	0.59282	0	0.59282	1.10135	1.10135
12	0.243632	0.593123	5.20009	UG1	8	16.2343	7.28881	8.51588	1.7717	0	1.7717	2.43505	2.43505
13	0.243632	1.23196	6.2439	UG1	8	16.2343	7.89245	9.22114	4.19384	0	4.19384	5.05735	5.05735
14	0.252037	1.92445	7.30787	Rilevato	0	29.2561	3.44899	4.02963	7.19363	0	7.19363	7.63594	7.63594
15	0.252037	2.56265	8.39248	Rilevato	0	29.2561	4.55313	5.31965	9.49655	0	9.49655	10.1683	10.1683
16	0.252037	3.17747	9.48013	Rilevato	0	29.2561	5.59678	6.539	11.6733	0	11.6733	12.6079	12.6079
17	0.252037	3.7687	10.5712	Rilevato	0	29.2561	6.58084	7.68873	13.7258	0	13.7258	14.954	14.954
18	0.252037	4.3361	11.6662	Rilevato	0	29.2561	7.50611	8.76976	15.6556	0	15.6556	17.2055	17.2055
19	0.252037	4.87939	12.7656	Rilevato	0	29.2561	8.37327	9.78291	17.4643	0	17.4643	19.3614	19.3614
20	0.252037	5.39829	13.8697	Rilevato	0	29.2561	9.18295	10.7289	19.1531	0	19.1531	21.4205	21.4205
21	0.252037	5.89244	14.9791	Rilevato	0	29.2561	9.93572	11.6084	20.7231	0	20.7231	23.3815	23.3815
22	0.252037	6.36148	16.0943	Rilevato	0	29.2561	10.6319	12.4218	22.1752	0	22.1752	25.2428	25.2428
23	0.252037	6.805	17.2158	Rilevato	0	29.2561	11.272	13.1696	23.5102	0	23.5102	27.0029	27.0029
24	0.252037	7.22254	18.3442	Rilevato	0	29.2561	11.8562	13.8522	24.7287	0	24.7287	28.6599	28.6599
25	0.252037	7.61361	19.48	Rilevato	0	29.2561	12.3847	14.4697	25.8311	0	25.8311	30.2119	30.2119
26	0.252037	7.97765	20.6238	Rilevato	0	29.2561	12.8577	15.0223	26.8177	0	26.8177	31.6566	31.6566
27	0.252037	8.31408	21.7762	Rilevato	0	29.2561	13.2753	15.5102	27.6885	0	27.6885	32.9919	32.9919
28	0.252037	8.62224	22.938	Rilevato	0	29.2561	13.6373	15.9331	28.4436	0	28.4436	34.2149	34.2149
29	0.252037	8.9014	24.1099	Rilevato	0	29.2561	13.9438	16.2912	29.0827	0	29.0827	35.3229	35.3229
30	0.252037	9.15079	25.2926	Rilevato	0	29.2561	14.1944	16.584	29.6054	0	29.6054	36.3128	36.3128
31	0.252037	9.36955	26.4869	Rilevato	0	29.2561	14.3889	16.8113	30.0112	0	30.0112	37.1812	37.1812
32	0.252037	9.55672	27.6938	Rilevato	0	29.2561	14.527	16.9726	30.2993	0	30.2993	37.9241	37.9241
33	0.252037	9.71127	28.9142	Rilevato	0	29.2561	14.6083	17.0676	30.4688	0	30.4688	38.5377	38.5377
34	0.252037	9.83205	30.1492	Rilevato	0	29.2561	14.6322	17.0955	30.5186	0	30.5186	39.0173	39.0173
35	0.252037	9.91781	31.3998	Rilevato	0	29.2561	14.598	17.0556	30.4473	0	30.4473	39.3579	39.3579
36	0.252037	9.96715	32.6673	Rilevato	0	29.2561	14.5051	16.947	30.2536	0	30.2536	39.554	39.554
37	0.252037	9.97851	33.9531	Rilevato	0	29.2561	14.3526	16.7689	29.9355	0	29.9355	39.5994	39.5994
38	0.252037	9.95019	35.2586	Rilevato	0	29.2561	14.1396	16.52	29.4912	0	29.4912	39.4873	39.4873
39	0.252037	9.88025	36.5855	Rilevato	0	29.2561	13.8649	16.1991	28.9184	0	28.9184	39.21	39.21
40	0.252037	9.76655	37.9356	Rilevato	0	29.2561	13.5275	15.8049	28.2147	0	28.2147	38.7591	38.7591
41	0.252037	9.60665	39.3111	Rilevato	0	29.2561	13.1259	15.3357	27.3771	0	27.3771	38.1248	38.1248
42	0.252037	9.39783	40.7141	Rilevato	0	29.2561	12.6588	14.7899	26.4027	0	26.4027	37.2964	37.2964
43	0.252037	9.13695	42.1474	Rilevato	0	29.2561	12.1244	14.1655	25.288	0	25.288	36.2614	36.2614
44	0.252037	8.79423	43.6139	Rilevato	0	29.2561	13.6661	15.9668	28.5038	0	28.5038	41.5242	41.5242
45	0.252037	7.83428	45.1172	Rilevato	0	29.2561	18.4797	21.5908	38.5435	0	38.5435	57.099	57.099
46	0.252037	6.58528	46.6612	Rilevato	0	29.2561	16.5771	19.3679	34.5752	0	34.5752	52.1426	52.1426
47	0.252037	5.26607	48.2508	Rilevato	0	29.2561	14.6305	17.0935	30.5149	0	30.5149	46.9074	46.9074
48	0.252037	3.86996	49.8914	Rilevato	0	29.2561	12.6393	14.7671	26.3621	0	26.3621	41.3671	41.3671
49	0.252037	2.38888	51.5899	Rilevato	0	29.2561	10.6034	12.3885	22.1158	0	22.1158	35.4892	35.4892
50	0.252037	0.812999	53.3547	Rilevato	0	29.2561	8.52335	9.95826	17.7773	0	17.7773	29.2351	29.2351

◆ Analisi globale dinamica

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.27147

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.248531	0.167349	-15.9178	UG1	10	20	8.75758	11.135	3.11839	0	3.11839	0.620789	0.620789
2	0.248531	0.486471	-14.5017	UG1	10	20	9.05417	11.5121	4.15446	0	4.15446	1.81261	1.81261
3	0.248531	0.774736	-13.0946	UG1	10	20	9.31206	11.84	5.05534	0	5.05534	2.88928	2.88928
4	0.248531	1.0327	-11.6956	UG1	10	20	9.53271	12.1206	5.82616	0	5.82616	3.8528	3.8528
5	0.248531	1.26085	-10.3035	UG1	10	20	9.71748	12.3555	6.47163	0	6.47163	4.70504	4.70504
6	0.248531	1.4596	-8.91763	UG1	10	20	9.86754	12.5463	6.99586	0	6.99586	5.44753	5.44753
7	0.248531	1.62931	-7.53698	UG1	10	20	9.98396	12.6943	7.40257	0	7.40257	6.0816	6.0816
8	0.248531	1.77029	-6.16071	UG1	10	20	10.0677	12.8008	7.69511	0	7.69511	6.60839	6.60839
9	0.248531	1.93694	-4.788	UG1	10	20	10.1789	12.9422	8.08361	0	8.08361	7.231	7.231
10	0.248531	2.64929	-3.41805	UG1	10	20	10.8824	13.8367	10.5412	0	10.5412	9.89122	9.89122
11	0.248531	3.48773	-2.05005	UG1	10	20	11.7127	14.8923	13.4416	0	13.4416	13.0223	13.0223
12	0.248531	4.29812	-0.683221	UG1	10	20	12.5017	15.8955	16.1978	0	16.1978	16.0487	16.0487
13	0.248531	5.08051	0.683221	UG1	10	20	13.2502	16.8472	18.8126	0	18.8126	18.9706	18.9706
14	0.248531	5.83489	2.05005	UG1	10	20	13.9589	17.7483	21.2883	0	21.2883	21.788	21.788
15	0.248531	6.56123	3.41805	UG1	10	20	14.6284	18.5995	23.627	0	23.627	24.5007	24.5007
16	0.248531	7.25942	4.788	UG1	10	20	15.2591	19.4014	25.8302	0	25.8302	27.1084	27.1084
17	0.248531	7.92932	6.16071	UG1	10	20	15.8514	20.1546	27.8994	0	27.8994	29.6104	29.6104
18	0.248531	8.57073	7.53698	UG1	10	20	16.4057	20.8593	29.8356	0	29.8356	32.0062	32.0062
19	0.248531	9.18341	8.91763	UG1	10	20	16.922	21.5158	31.6395	0	31.6395	34.2947	34.2947
20	0.248531	9.76705	10.3035	UG1	10	20	17.4006	22.1244	33.3114	0	33.3114	36.4748	36.4748
21	0.248531	10.3213	11.6956	UG1	10	20	17.8416	22.685	34.8518	0	34.8518	38.5452	38.5452
22	0.248531	10.8457	13.0946	UG1	10	20	18.2448	23.1977	36.2604	0	36.2604	40.5042	40.5042
23	0.248531	11.3398	14.5017	UG1	10	20	18.6101	23.6622	37.5367	0	37.5367	42.3502	42.3502
24	0.248531	11.8031	15.9178	UG1	10	20	18.9375	24.0784	38.6802	0	38.6802	44.081	44.081
25	0.246996	12.1581	17.3395	Rilevato	0	35	21.4705	27.2991	38.987	0	38.987	45.6906	45.6906
26	0.246996	12.553	18.7678	Rilevato	0	35	21.8846	27.8256	39.7391	0	39.7391	47.1755	47.1755
27	0.246996	12.9155	20.2084	Rilevato	0	35	22.2252	28.2587	40.3574	0	40.3574	48.5384	48.5384
28	0.246996	13.2447	21.6624	Rilevato	0	35	22.4925	28.5986	40.8431	0	40.8431	49.7769	49.7769
29	0.246996	13.5397	23.1313	Rilevato	0	35	22.6864	28.8451	41.1949	0	41.1949	50.8862	50.8862
30	0.246996	13.7993	24.6164	Rilevato	0	35	22.8067	28.998	41.4133	0	41.4133	51.8629	51.8629
31	0.246996	14.0223	26.1195	Rilevato	0	35	22.8528	29.0566	41.4971	0	41.4971	52.7022	52.7022
32	0.246996	14.2074	27.6421	Rilevato	0	35	22.8241	29.0202	41.445	0	41.445	53.3986	53.3986
33	0.246996	14.3529	29.1862	Rilevato	0	35	22.72	28.8878	41.2558	0	41.2558	53.9464	53.9464
34	0.246996	14.4571	30.754	Rilevato	0	35	22.5391	28.6578	40.9276	0	40.9276	54.339	54.339
35	0.246996	14.5179	32.3477	Rilevato	0	35	22.2804	28.3288	40.4578	0	40.4578	54.5688	54.5688
36	0.246996	14.5331	33.9701	Rilevato	0	35	21.9422	27.8988	39.8437	0	39.8437	54.6272	54.6272
37	0.246996	14.5001	35.624	Rilevato	0	35	21.5226	27.3653	39.0819	0	39.0819	54.5042	54.5042
38	0.246996	14.4158	37.313	Rilevato	0	35	21.0195	26.7257	38.1683	0	38.1683	54.1885	54.1885
39	0.246996	14.2768	39.0408	Rilevato	0	35	20.4305	25.9768	37.0987	0	37.0987	53.6671	53.6671
40	0.246996	14.0791	40.8121	Rilevato	0	35	19.7526	25.1149	35.8679	0	35.8679	52.9252	52.9252
41	0.246996	13.8178	42.6321	Rilevato	0	35	18.9824	24.1356	34.4694	0	34.4694	51.9442	51.9442
42	0.246996	13.4857	44.507	Rilevato	0	35	18.2086	23.1517	33.0639	0	33.0639	50.9618	50.9618
43	0.246996	12.6414	46.4444	Rilevato	0	35	17.9686	22.8465	32.6281	0	32.6281	51.5263	51.5263
44	0.246996	11.3744	48.4535	Rilevato	0	35	15.8831	20.1949	28.8415	0	28.8415	46.7647	46.7647
45	0.246996	10.0128	50.5457	Rilevato	0	35	13.7406	17.4708	24.9509	0	24.9509	41.6467	41.6467
46	0.246996	8.54339	52.7355	Rilevato	0	35	11.5403	14.6731	20.9553	0	20.9553	36.1236	36.1236
47	0.246996	6.94921	55.0419	Rilevato	0	35	9.28185	11.8016	16.8544	0	16.8544	30.1309	30.1309
48	0.246996	5.2074	57.4903	Rilevato	0	35	6.96697	8.85829	12.651	0	12.651	23.5828	23.5828
49	0.246996	3.28603	60.1165	Rilevato	0	35	4.60036	5.84922	8.35354	0	8.35354	16.3591	16.3591
50	0.246996	1.13788	62.9736	Rilevato	0	35	2.19324	2.78864	3.9826	0	3.9826	8.28218	8.28218

Slide Analysis Information

Trincea

Project Summary

File Name: Trincea.slmd
Slide Modeler Version: 9.02
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 30/05/2023, 11:38:59

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Analisi globale statica 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.224260	00h:00m:00.328s
Analisi globale dinamica 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.207390	00h:00m:00.287s

Design Standard

◆ Analisi globale statica

Selected Type:	Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2
Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

All Open Scenarios

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Seismic Loading

◆ Analisi globale statica

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No

◆ Analisi globale dinamica

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No
Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.145
Seismic Load Coefficient (Vertical):	-0.072

Materials

UG1

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19
Cohesion [kPa]	10
Friction Angle [deg]	20
Water Surface	Assigned per scenario
Ru Value	0

UG2

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19
Cohesion [kPa]	20
Friction Angle [deg]	20
Water Surface	Assigned per scenario
Ru Value	0

Materials In Use

	Material	Analisi globale statica	Analisi globale dinamica
UG1		✓	✓
UG2		✓	✓

Global Minimums

◆ Analisi globale statica

Method: bishop simplified

FS	1.224260
Center:	49.392, 45.239
Radius:	9.927
Left Slip Surface Endpoint:	47.479, 35.498
Right Slip Surface Endpoint:	58.368, 41.000
Resisting Moment:	2165.69 kN-m
Driving Moment:	1768.99 kN-m
Total Slice Area:	21.6724 m ²
Surface Horizontal Width:	10.8898 m
Surface Average Height:	1.99015 m

◆ Analisi globale dinamica

Method: bishop simplified

FS	1.207390
Center:	49.803, 45.443
Radius:	10.213
Left Slip Surface Endpoint:	47.478, 35.498
Right Slip Surface Endpoint:	58.999, 41.000
Resisting Moment:	2908.84 kN-m
Driving Moment:	2409.2 kN-m
Total Slice Area:	25.499 m ²
Surface Horizontal Width:	11.521 m
Surface Average Height:	2.21326 m

Slice Data

◆ Analisi globale statica

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22426

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.217796	0.0846456	-10.4755	UG1	8	16.2343	6.93167	8.48616	1.66965	0	1.66965	0.388006	0.388006
2	0.217796	0.243599	-9.19957	UG1	8	16.2343	7.07288	8.65905	2.2634	0	2.2634	1.1179	1.1179
3	0.217796	0.44882	-7.9282	UG1	8	16.2343	7.2652	8.89449	3.072	0	3.072	2.06023	2.06023
4	0.217796	1.08188	-6.66075	UG1	8	16.2343	7.93632	9.71612	5.89371	0	5.89371	4.96692	4.96692
5	0.217796	1.77792	-5.39656	UG1	8	16.2343	8.67081	10.6153	8.98194	0	8.98194	8.16283	8.16283
6	0.217796	2.45391	-4.13501	UG1	8	16.2343	9.37542	11.4779	11.9445	0	11.9445	11.2667	11.2667
7	0.217796	3.10997	-2.87547	UG1	8	16.2343	10.0507	12.3047	14.7839	0	14.7839	14.2791	14.2791
8	0.217796	3.74617	-1.61731	UG1	8	16.2343	10.6973	13.0962	17.5023	0	17.5023	17.2002	17.2002
9	0.217796	4.36257	-0.359934	UG1	8	16.2343	11.3155	13.8531	20.1016	0	20.1016	20.0305	20.0305
10	0.217796	4.95919	0.897268	UG1	8	16.2343	11.9058	14.5758	22.5835	0	22.5835	22.77	22.77
11	0.217796	5.53602	2.1549	UG1	8	16.2343	12.4685	15.2647	24.9495	0	24.9495	25.4186	25.4186
12	0.217796	6.09303	3.41358	UG1	8	16.2343	13.0039	15.9202	27.2006	0	27.2006	27.9763	27.9763
13	0.217796	6.63015	4.6739	UG1	8	16.2343	13.5122	16.5425	29.3379	0	29.3379	30.4426	30.4426
14	0.217796	7.14729	5.9365	UG1	8	16.2343	13.9937	17.1319	31.3621	0	31.3621	32.8172	32.8172
15	0.217796	7.64434	7.202	UG1	8	16.2343	14.4483	17.6885	33.2738	0	33.2738	35.0995	35.0995
16	0.217796	8.12112	8.47105	UG1	8	16.2343	14.8763	18.2125	35.0733	0	35.0733	37.2889	37.2889
17	0.217796	8.57746	9.7443	UG1	8	16.2343	15.2776	18.7038	36.7607	0	36.7607	39.3844	39.3844
18	0.217796	9.01314	11.0224	UG1	8	16.2343	15.6524	19.1626	38.3361	0	38.3361	41.385	41.385
19	0.217796	9.42791	12.3061	UG1	8	16.2343	16.0004	19.5886	39.7991	0	39.7991	43.2896	43.2896
20	0.217796	9.82146	13.5962	UG1	8	16.2343	16.3215	19.9817	41.1493	0	41.1493	45.0968	45.0968
21	0.217796	10.1935	14.8932	UG1	8	16.2343	16.6156	20.3418	42.3861	0	42.3861	46.8051	46.8051
22	0.217796	10.5436	16.1982	UG1	8	16.2343	16.8825	20.6686	43.5085	0	43.5085	48.4127	48.4127
23	0.217796	10.8713	17.5118	UG1	8	16.2343	17.122	20.9618	44.5152	0	44.5152	49.9177	49.9177
24	0.217796	11.1763	18.8351	UG1	8	16.2343	17.3337	21.221	45.4053	0	45.4053	51.3181	51.3181
25	0.217796	11.4579	20.1688	UG1	8	16.2343	17.5173	21.4457	46.1772	0	46.1772	52.6115	52.6115
26	0.217796	11.7155	21.514	UG1	8	16.2343	17.6722	21.6354	46.8286	0	46.8286	53.7949	53.7949
27	0.217796	11.9487	22.8719	UG1	8	16.2343	17.798	21.7894	47.3574	0	47.3574	54.8653	54.8653
28	0.217796	12.1565	24.2434	UG1	8	16.2343	17.8942	21.9071	47.7616	0	47.7616	55.8199	55.8199
29	0.217796	12.3382	25.6299	UG1	8	16.2343	17.9598	21.9875	48.0381	0	48.0381	56.6546	56.6546
30	0.217796	12.4929	27.0327	UG1	8	16.2343	17.9945	22.0299	48.1834	0	48.1834	57.365	57.365
31	0.217796	12.6196	28.4533	UG1	8	16.2343	17.9971	22.0331	48.1945	0	48.1945	57.9472	57.9472
32	0.217796	12.7172	29.8932	UG1	8	16.2343	17.9668	21.996	48.0672	0	48.0672	58.3957	58.3957
33	0.217796	12.7844	31.3543	UG1	8	16.2343	17.9024	21.9172	47.7963	0	47.7963	58.7044	58.7044
34	0.217796	12.8199	32.8385	UG1	8	16.2343	17.8028	21.7952	47.3774	0	47.3774	58.8674	58.8674
35	0.217796	12.8219	34.3479	UG1	8	16.2343	17.6664	21.6283	46.8042	0	46.8042	58.8771	58.8771
36	0.217796	12.7888	35.885	UG1	8	16.2343	17.4919	21.4146	46.0704	0	46.0704	58.7254	58.7254
37	0.217796	12.7184	37.4526	UG1	8	16.2343	17.2772	21.1518	45.1679	0	45.1679	58.4025	58.4025
38	0.217796	12.6084	39.0538	UG1	8	16.2343	17.0205	20.8375	44.0886	0	44.0886	57.8981	57.8981
39	0.217796	12.4562	40.6923	UG1	8	16.2343	16.7193	20.4688	42.8223	0	42.8223	57.1992	57.1992
40	0.217796	12.2584	42.3721	UG1	8	16.2343	16.371	20.0423	41.3574	0	41.3574	56.2915	56.2915
41	0.217796	11.9058	44.0982	UG1	8	16.2343	15.8784	19.4393	39.2866	0	39.2866	54.6728	54.6728
42	0.217796	11.0542	45.8763	UG1	8	16.2343	14.9434	18.2946	35.3552	0	35.3552	50.7628	50.7628
43	0.217796	10.0941	47.7133	UG1	8	16.2343	13.9194	17.041	31.0498	0	31.0498	46.3542	46.3542
44	0.217796	9.06882	49.6177	UG1	8	16.2343	12.8472	15.7283	26.5417	0	26.5417	41.6466	41.6466
45	0.217796	7.97044	51.5999	UG1	8	16.2343	11.7226	14.3515	21.8132	0	21.8132	36.6033	36.6033
46	0.217796	6.78903	53.6729	UG1	8	16.2343	10.5406	12.9045	16.8436	0	16.8436	31.1787	31.1787
47	0.217796	5.51174	55.8538	UG1	8	16.2343	9.29545	11.3801	11.6083	0	11.6083	25.3138	25.3138
48	0.217796	4.1215	58.1654	UG1	8	16.2343	7.97993	9.76951	6.07712	0	6.07712	18.9301	18.9301
49	0.217796	2.59465	60.6392	UG1	8	16.2343	6.5853	8.06213	0.21336	0	0.21336	11.9191	11.9191
50	0.217796	0.896814	63.3213	UG1	8	16.2343	5.10078	6.24468	-6.02838	0	-6.02838	4.12278	4.12278

◆ Analisi globale dinamica

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20739

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [deg]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [deg]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.23042	0.113272	-12.4967	UG1	10	20	9.02234	10.8935	2.45481	0	2.45481	0.455161	0.455161
2	0.23042	0.327678	-11.1758	UG1	10	20	9.22955	11.1437	3.1422	0	3.1422	1.31875	1.31875
3	0.23042	0.642342	-9.86095	UG1	10	20	9.56302	11.5463	4.24843	0	4.24843	2.58613	2.58613
4	0.23042	1.42733	-8.55132	UG1	10	20	10.4905	12.6661	7.32507	0	7.32507	5.74765	5.74765
5	0.23042	2.23983	-7.24618	UG1	10	20	11.4399	13.8124	10.4745	0	10.4745	9.01998	9.01998
6	0.23042	3.029	-5.94481	UG1	10	20	12.3471	14.9078	13.4841	0	13.4841	12.1984	12.1984
7	0.23042	3.79504	-4.64651	UG1	10	20	13.2134	15.9537	16.3576	0	16.3576	15.2837	15.2837
8	0.23042	4.53808	-3.3506	UG1	10	20	14.0395	16.9512	19.0983	0	19.0983	18.2763	18.2763
9	0.23042	5.25824	-2.0564	UG1	10	20	14.8266	17.9015	21.7092	0	21.7092	21.1768	21.1768
10	0.23042	5.95559	-0.763253	UG1	10	20	15.5754	18.8056	24.193	0	24.193	23.9855	23.9855
11	0.23042	6.63016	0.529505	UG1	10	20	16.2865	19.6641	26.552	0	26.552	26.7025	26.7025
12	0.23042	7.28197	1.82253	UG1	10	20	16.9606	20.478	28.7881	0	28.7881	29.3278	29.3278
13	0.23042	7.91098	3.11649	UG1	10	20	17.5981	21.2478	30.9032	0	30.9032	31.8613	31.8613
14	0.23042	8.51711	4.41204	UG1	10	20	18.1997	21.9741	32.8985	0	32.8985	34.3028	34.3028
15	0.23042	9.10028	5.70986	UG1	10	20	18.7654	22.6572	34.7753	0	34.7753	36.6516	36.6516
16	0.23042	9.66034	7.01062	UG1	10	20	19.2958	23.2975	36.5346	0	36.5346	38.9075	38.9075
17	0.23042	10.1971	8.31503	UG1	10	20	19.7909	23.8953	38.1771	0	38.1771	41.0696	41.0696
18	0.23042	10.7104	9.6238	UG1	10	20	20.251	24.4508	39.7032	0	39.7032	43.137	43.137
19	0.23042	11.1999	10.9377	UG1	10	20	20.676	24.964	41.1131	0	41.1131	45.1088	45.1088
20	0.23042	11.6654	12.2574	UG1	10	20	21.066	25.4349	42.407	0	42.407	46.9837	46.9837
21	0.23042	12.1064	13.5837	UG1	10	20	21.421	25.8635	43.5847	0	43.5847	48.7605	48.7605
22	0.23042	12.5227	14.9175	UG1	10	20	21.7408	26.2496	44.6454	0	44.6454	50.4373	50.4373
23	0.23042	12.9137	16.2597	UG1	10	20	22.0251	26.5929	45.5886	0	45.5886	52.0124	52.0124
24	0.23042	13.279	17.6111	UG1	10	20	22.2738	26.8932	46.4135	0	46.4135	53.4839	53.4839
25	0.23042	13.6181	18.9727	UG1	10	20	22.4864	27.1499	47.119	0	47.119	54.8497	54.8497
26	0.23042	13.9301	20.3455	UG1	10	20	22.6626	27.3626	47.7034	0	47.7034	56.107	56.107
27	0.23042	14.2146	21.7306	UG1	10	20	22.8017	27.5306	48.1649	0	48.1649	57.2529	57.2529
28	0.23042	14.4706	23.1292	UG1	10	20	22.9032	27.6531	48.5013	0	48.5013	58.2842	58.2842
29	0.23042	14.6974	24.5426	UG1	10	20	22.9663	27.7293	48.7111	0	48.7111	59.198	59.198
30	0.23042	14.8939	25.9721	UG1	10	20	22.9903	27.7583	48.7907	0	48.7907	59.9899	59.9899
31	0.23042	15.059	27.4191	UG1	10	20	22.9742	27.7388	48.7369	0	48.7369	60.6554	60.6554
32	0.23042	15.1916	28.8855	UG1	10	20	22.9168	27.6695	48.5463	0	48.5463	61.1895	61.1895
33	0.23042	15.2903	30.3728	UG1	10	20	22.8169	27.5489	48.2152	0	48.2152	61.5873	61.5873
34	0.23042	15.3534	31.8832	UG1	10	20	22.6732	27.3754	47.7385	0	47.7385	61.8421	61.8421
35	0.23042	15.3794	33.4187	UG1	10	20	22.484	27.147	47.1107	0	47.1107	61.9468	61.9468
36	0.23042	15.3661	34.9819	UG1	10	20	22.2476	26.8615	46.3266	0	46.3266	61.8941	61.8941
37	0.23042	15.3115	36.5756	UG1	10	20	21.9618	26.5164	45.3782	0	45.3782	61.674	61.674
38	0.23042	15.2128	38.203	UG1	10	20	21.6242	26.1088	44.2587	0	44.2587	61.2771	61.2771
39	0.23042	14.849	39.8676	UG1	10	20	21.0205	25.38	42.2563	0	42.2563	59.812	59.812
40	0.23042	13.993	41.5737	UG1	10	20	19.9414	24.0771	38.6765	0	38.6765	56.365	56.365
41	0.23042	13.0699	43.3262	UG1	10	20	18.8058	22.7059	34.9093	0	34.9093	52.6472	52.6472
42	0.23042	12.0874	45.1309	UG1	10	20	17.6232	21.2781	30.9865	0	30.9865	48.6904	48.6904
43	0.23042	11.04	46.9947	UG1	10	20	16.3908	19.7901	26.8979	0	26.8979	44.4716	44.4716
44	0.23042	9.92044	48.9261	UG1	10	20	15.1048	18.2373	22.6319	0	22.6319	39.9627	39.9627
45	0.23042	8.72028	50.9355	UG1	10	20	13.7611	16.615	18.1746	0	18.1746	35.129	35.129
46	0.23042	7.42862	53.036	UG1	10	20	12.3549	14.9171	13.5097	0	13.5097	29.9267	29.9267
47	0.23042	6.03147	55.2448	UG1	10	20	10.8804	13.1368	8.61843	0	8.61843	24.2994	24.2994
48	0.23042	4.51022	57.5844	UG1	10	20	9.33079	11.2659	3.47804	0	3.47804	18.1722	18.1722
49	0.23042	2.83924	60.0863	UG1	10	20	7.69805	9.29455	-1.9382	0	-1.9382	11.4417	11.4417
50	0.23042	0.981282	62.7964	UG1	10	20	5.97268	7.21135	-7.66173	0	-7.66173	3.95804	3.95804