

**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"**

**Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni – 1° Stralcio lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S. n. 78 "Picena" – Belforte del Chienti – Sarnano"**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

<b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</b>  <i>Ing. Marco Salvi</i>  Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A30808		<b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b>  <i>Ing. Isidoro Guerrini</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15764  <i>Ing. Moreno Panfili</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	<b>PROGETTAZIONE ATI:</b> (Mandataria)   <i>GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</i>   cooprogetti   engeko   Studio di Architettura e Ingegneria Moderna
<b>IL GEOLOGO</b>  <i>Dott. Geol. Marco Leonardi</i>  Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1541			(Mandante)  (Mandante)
<b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b>  <i>Ing. Marco Mancina</i>			(Mandante)
<b>PROTOCOLLO</b>	<b>DATA</b>	<b>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12)</b>  <i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035	

**GEOLOGIA, GEOTECNICA  
GEOTECNICA**

Relazione geotecnica generale

<b>CODICE PROGETTO</b>			<b>NOME FILE</b>	<b>REVISIONE</b>	<b>SCALA</b>
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T01GE00GETRE01B		
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<b>CODICE ELAB.</b>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
			T 0 1 G E 0 0 G E T R E 0 1	B	-
<b>D</b>					
<b>C</b>					
<b>B</b>	Rimissione a seguito di aggiornamento E.P. 2022/2	29/06/22	A.Belà	I.Guerrini	G.Guiducci
<b>A</b>	Emissione a seguito di CdS	Giugno '22	A.Belà	I.Guerrini	G.Guiducci
<b>REV.</b>	<b>DESCRIZIONE</b>	<b>DATA</b>	<b>REDATTO</b>	<b>VERIFICATO</b>	<b>APPROVATO</b>

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>PREMESSA.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b>2.</b>	<b><u>DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....</u></b>	<b><u>4</u></b>
2.1.	NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI TECNICHE .....	4
<b>3.</b>	<b><u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....</u></b>	<b><u>5</u></b>
3.1.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	5
3.2.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	5
3.3.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	5
<b>4.</b>	<b><u>INDAGINI ESEGUITE.....</u></b>	<b><u>6</u></b>
4.1.	CAMPAGNA DI INDAGINI .....	6
4.2.	PROVE IN SITO.....	7
4.2.1.	<i>Prova penetrometrica dinamica (SPT).....</i>	7
4.2.2.	<i>Prova penetrometrica dinamica continua superpesante (DPSH) .....</i>	10
4.2.3.	<i>Rilievo dei livelli di falda .....</i>	10
4.3.	INDAGINI GEOFISICHE .....	10
4.3.1.	<i>Prova MASW .....</i>	10
4.4.	PROVE DI LABORATORIO .....	11
<b>5.</b>	<b><u>INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....</u></b>	<b><u>13</u></b>
<b>6.</b>	<b><u>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</u></b>	<b><u>14</u></b>
6.1.	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI .....	14
6.1.1.	<i>Unità geotecnica 1 .....</i>	14
6.1.2.	<i>Unità geotecnica 2 .....</i>	18
6.1.3.	<i>Unità geotecnica 3 .....</i>	23
6.1.4.	<i>Unità geotecnica 4 .....</i>	28
6.2.	SINTESI PARAMETRI CARATTERISTICI.....	33
<b>7.</b>	<b><u>PROBLEMATICHE GEOTECNICHE .....</u></b>	<b><u>35</u></b>
7.1.	RILEVATI.....	35
7.1.1.	<i>Analisi di stabilità.....</i>	35
7.2.	TRINCEE .....	37
7.2.1.	<i>Analisi di stabilità.....</i>	37
<b>8.</b>	<b><u>PROGETTO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO-STRUTTURALE.....</u></b>	<b><u>40</u></b>
8.1.	OPERE D'ARTE MINORI – PARATIE .....	40
8.2.	OPERE D'ARTE MINORI – MURI DI SOSTEGNO .....	41

8.3.	OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI .....	42
8.4.	FREQUENZA DELLE LETTURE .....	42
<b>9.</b>	<b><u>ALLEGATI.....</u></b>	<b>44</b>
9.1.	RISULTATI INDAGINI DI LABORATORIO .....	44

## **1. PREMESSA**

La presente relazione accompagna il progetto definitivo del 1° stralcio dei lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. n. 502 "Cingoli" – S.S. n. 78 "Picena" – Belforte del Chianti – Sarnano (Lotto 1). I lavori ricompresi nel 1° stralcio fanno parte del quadro delle iniziative inquadrare 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;
- Progetto preliminare di monitoraggio geotecnico-strutturale.

## 2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

### 2.1. NORMATIVA 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 un'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 sinclinaliche.

I depositi superficiali sono in genere argilloso-limoso-sabbiosi di spessore cospicuo (da qualche metro fino a 10 m ed oltre) e lungo le valli fluviali sono presenti depositi alluvionali terrazzati, prevalentemente ghiaiosi, di discreta estensione e potenza.

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

#### **3.2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

L'assetto geomorfologico generale dell'area d'indagine risulta caratterizzato nella porzione settentrionale e centrale del tracciato stradale da depositi terrazzati alluvionali e recenti, localmente complicato da forme legate a dissesti geomorfologici. Nella porzione meridionale i depositi quaternari diminuiscono ed i depositi di versante, quando presenti, risultano spesso caratterizzati da instabilità geomorfologica. Il territorio è attraversato da una serie di fossi localmente in erosione che hanno subito delle deviazioni rispetto al loro originale percorso per effetto di spinte legate al piede di accumuli di frana. In linea generale il territorio esaminato rappresenta le stesse peculiarità geomorfologiche dei comuni della fascia pedemontana presentando la maggior frequenza di dissesti geomorfologici in corrispondenza di corsi d'acqua, in corrispondenza di terreni acclivi e con presenza di coltri o legati ad elementi sismogenetici o di faglie non più attive.

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

#### **3.3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

L'area di studio fa parte del bacino idrografico del Fiume Chienti che risulta essere un'asta fluviale che taglia ortogonalmente le strutture delle dorsali carbonatiche della zona fino a gettarsi 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.

Nell'area di Caldarola 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 qualora non appartenenti a depositi di terrazzi fluviali. 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.

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

## 4. INDAGINI ESEGUITE

### 4.1. CAMPAGNA DI INDAGINI

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. 18 sondaggi a carotaggio continuo;
- installazione di n. 9 piezometri a tubo aperto;
- n. 34 prove SPT;
- n. 21 prove DPSH;
- n. 4 stendimento sismico a rifrazione con elaborazione tomografica;
- n. 8 stendimenti sismici MASW;
- n. 11 indagini di sismica passiva HVSR;
- n. 37 prelievi di campioni indisturbati effettuati nel corso dei sondaggi;
- n. 1 prelievi di campioni rimaneggiati effettuati nel corso dei sondaggi;
- n. 12 campioni di terra prelevati per finalità di carattere ambientale e chimico;
- n. 2 campioni di acqua per finalità di carattere ambientale e chimico;
- prove di laboratorio sui campioni prelevati dai sondaggi.

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

## 4.2. PROVE 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.

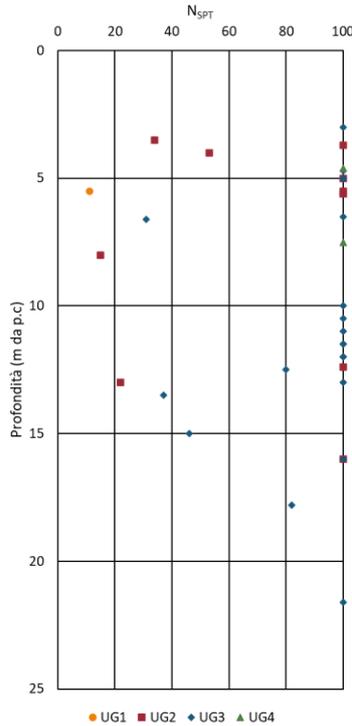


Figura 4-1 Risultati prove  $N_{SPT}$

#### 4.2.1.1. Criteri di interpretazione

##### 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

PROGETTAZIONE ATI:

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

- 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

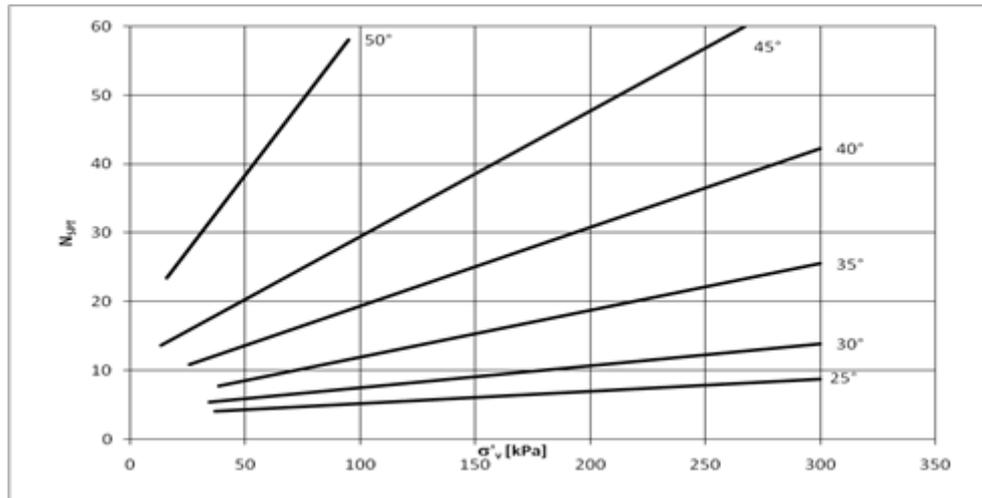


Figura 4-2 Correlazione di De Mello, fra il valore  $N_{SPT}$ , la tensione verticale efficace e l'angolo di resistenza al taglio di picco.

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

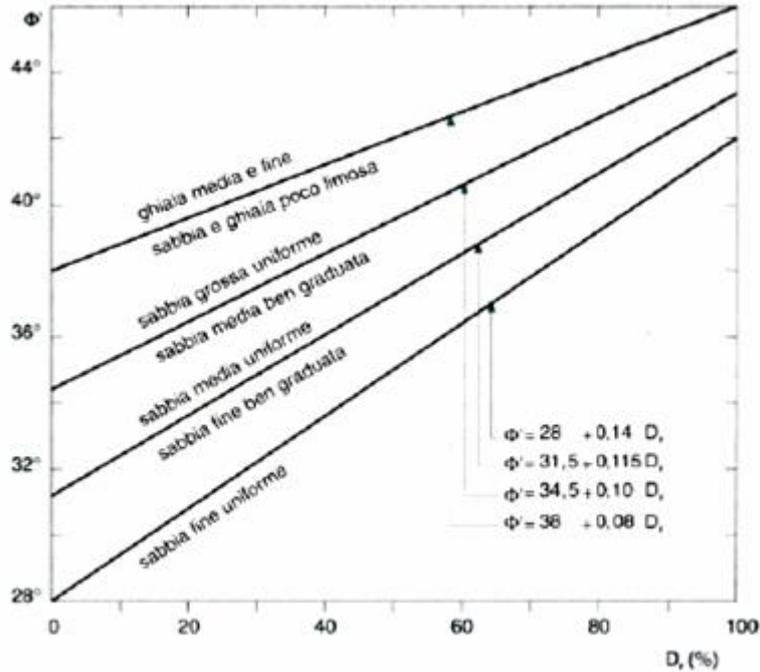


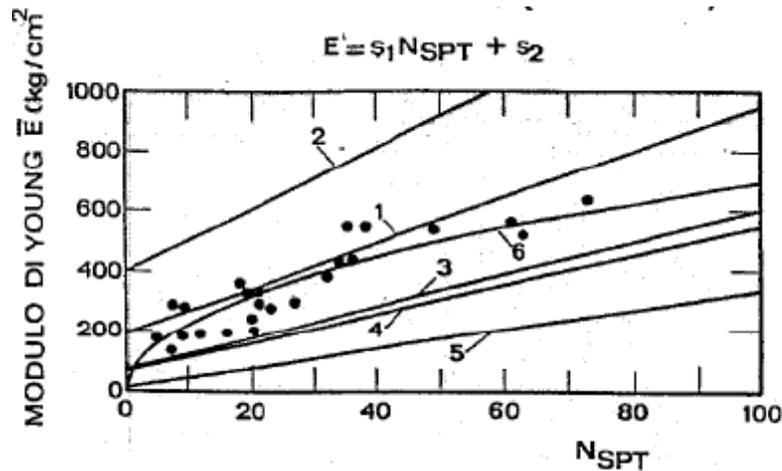
Figura 4-3 Correlazione di Schmertmann (1977) – Stima di  $\phi'$  da  $D_r$  per differenti granulometrie.

#### 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	S1	S2
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

PROGETTAZIONE ATI:

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

Oltre alle correlazioni appena citate, nel caso di limi, sabbie limose e miscele leggermente coesive è stata adottata anche la correlazione suggerita dall'AASHTO (1966)

$$E = 0.4N_{1(60)}$$

dove

- E modulo di Young operativo (MPa)
- $N_{1(60)}$  numero di colpi normalizzati a una tensione verticale efficace di 100 kPa e corretta al 60% del rapporto di energia delle aste

#### 4.2.2. PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA SUPERPESANTE (DPSH)

Durante la campagna d'indagini sono state effettuate n. 21 prove DPSH. I risultati delle prove DPSH sono stati utilizzati per ricostruire la litologia del sottosuolo.

#### 4.2.3. RILIEVO DEI LIVELLI DI FALDA

Durante la campagna d'indagini sono stati installati n. 9 piezometri a tubo aperto. Nella Tabella 4-1 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.

Data rilievo	Sondaggio	Tipo di piezometro	Livello falda (m dal p.c.)
30/04/2022	S3	A tubo aperto	10.00
30/04/2022	S3bis	A tubo aperto	3.70
30/04/2022	S6	A tubo aperto	8.35
30/04/2022	S7	A tubo aperto	4.50
30/04/2022	S9	A tubo aperto	16.60
30/04/2022	S12	A tubo aperto	2.90
30/04/2022	S14	A tubo aperto	11.10
30/04/2022	Si17	A tubo aperto	7.20
30/04/2022	Si18	A tubo aperto	10.40

### 4.3. INDAGINI GEOFISICHE

#### 4.3.1. PROVA MASW

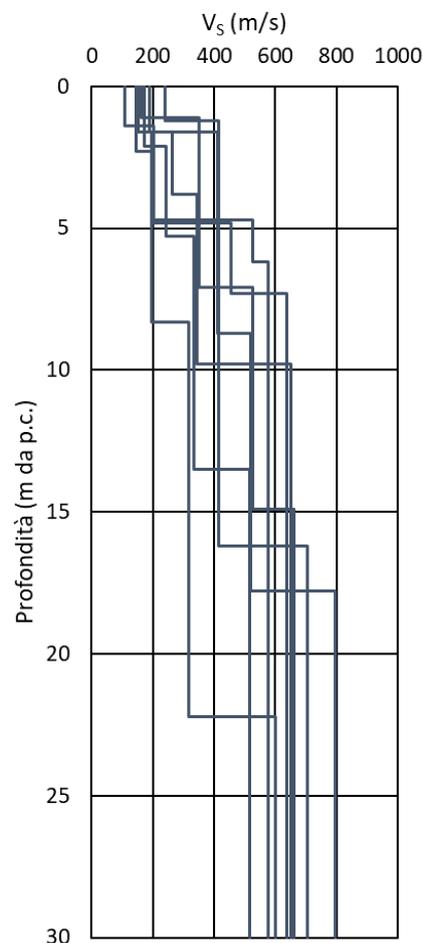
Durante la campagna d'indagini sono state eseguite n. 8 stendimenti sismici MASW.

Tabella 4-2 Elenco indagini geofisiche MASW e categorie di sottosuolo secondo [1]

Prova	Opera d'arte	Lunghezza del tratto di prova	$V_{s,eq}$	Categoria di sottosuolo
-------	--------------	-------------------------------	------------	-------------------------

PROGETTAZIONE ATI:

		(m)	(m/s)	(NTC 2018)
MASW 1	Rilevato	50	512	B
MASW 2	Viadotto 2	50	366	B
MASW 3	Trincea	50	291	C
MASW 4	Rilevato	50	494	B
MASW 5	Viadotto 3	50	442	B
MASW 6	Galleria 2	50	445	B
MASW 7	Rilevato	50	488	B
MASW 8	Galleria 1	50	410	B



**Figura 4-4 Profili Vs ottenuti da prove MASW**

#### 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;

PROGETTAZIONE ATI:

- determinazione del peso specifico dei grani;
- prova di taglio diretta (TD);
- prova triassiale consolidata non drenata (TxCIU);
- prova triassiale non consolidata non drenata (TxUU);
- prova di compressione con espansione laterale libera (ELL);
- prova edometrica.

## 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 quattro unità geotecniche:

- **UG1 – LIMO CON ARGILLA**

L'UG 1 è costituita da depositi di frana con indizi di evoluzione ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa. Questa unità geotecnica risulta quella più superficiale e presenta uno spessore variabile compreso tra 2 e 5 m.

- **UG2 – ARGILLA CON LIMO SABBIOSA**

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

- **UG3 – ARGILLA CON LIMO SABBIOSA**

L'UG 3 è costituita dalla de formazione gessoso – solfifera ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa in matrice sabbiosa.

- **UG4 – FORMAZIONE ARENACEO-MARNOSA**

L'UG 4 è costituita dalla litofacies pelitico-arenacea ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una significativa percentuale di componente limosa e argillosa in matrice sabbiosa. Dalle indagini in sito effettuate in corrispondenza di questa unità è possibile caratterizzare tale unità geotecnica come terreno.

## 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 1

L'UG1 è costituita da depositi di frana con indizi di evoluzione ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa. Nell'unità UG1 sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati (Q4 e Q5).

##### 6.1.1.1. Caratteristiche fisiche

*Peso di volume*

Peso di volume allo stato naturale  $\gamma_n = 18 \div 19 \text{ kN/m}^3$

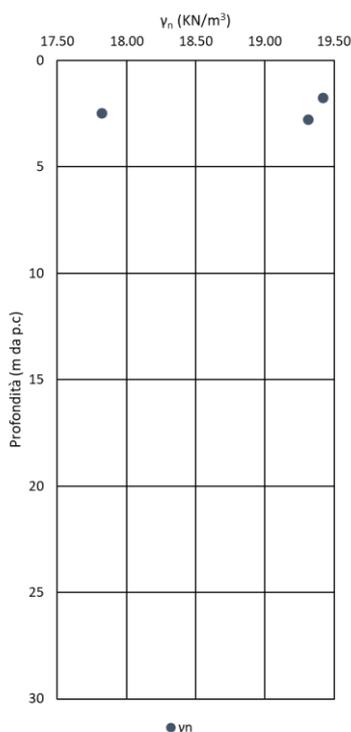


Figura 6-1 Peso di volume allo stato naturale (UG1)

*Contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg*

Contenuto d'acqua naturale  $w_n = 24 \div 25\%$

Limite liquido  $w_L = 45 \div 53\%$

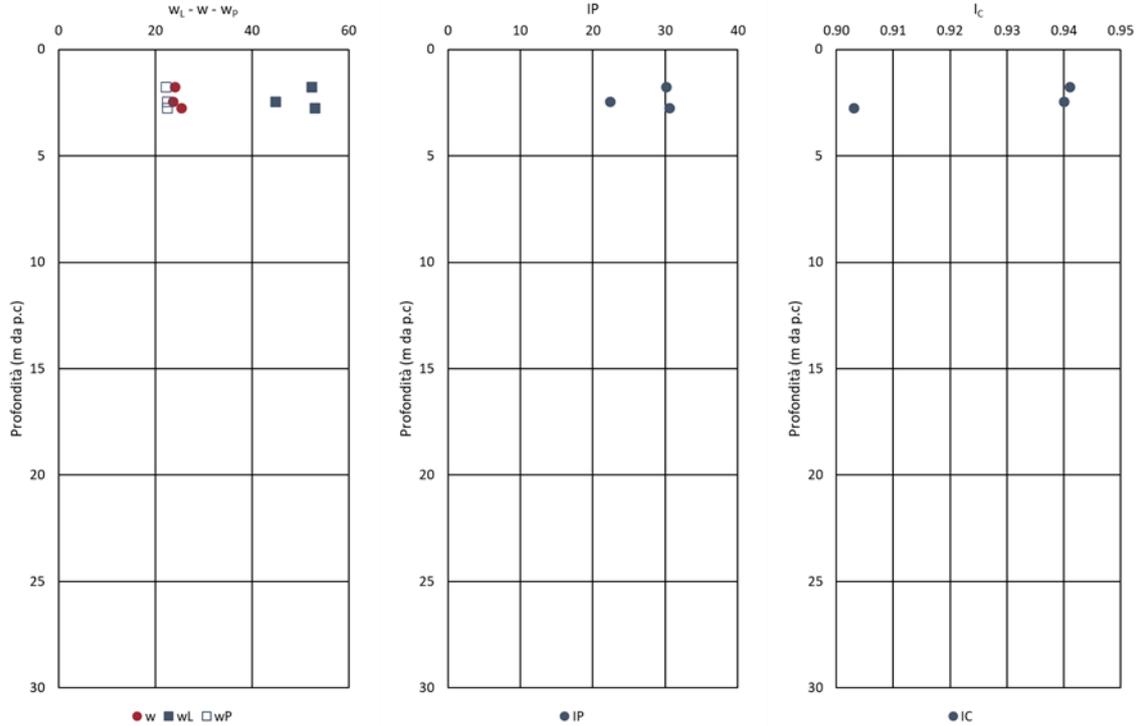
Limite plastico  $w_P = 22 \div 23\%$

PROGETTAZIONE ATI:

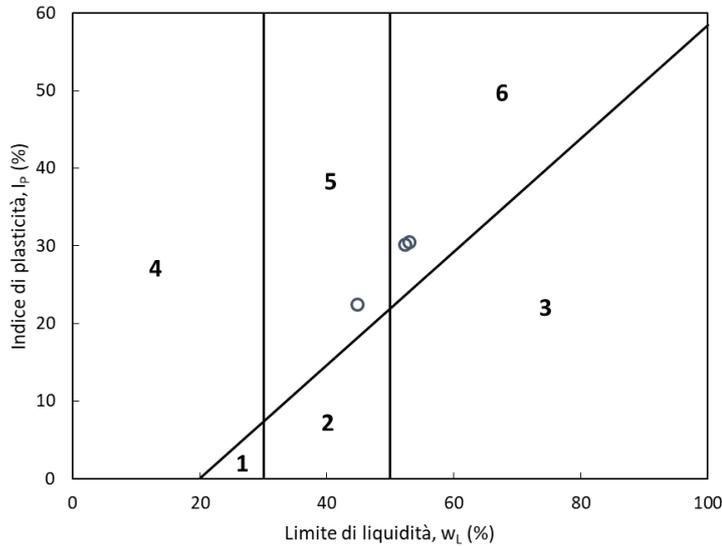
Indice di plasticità  
Indice di consistenza

$$I_P = 22 \div 31\%$$

$$I_C = 0.90 \div 0.94$$



**Figura 6-2** Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG1)



- 1 - Limi inorganici di bassa compressibilità
- 2 - Limi inorganici di media compressibilità e limi organici
- 3 - Limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche
- 4 - Argille inorganiche di bassa plasticità
- 5 - Argille inorganiche di media plasticità
- 6 - Argille inorganiche di alta plasticità

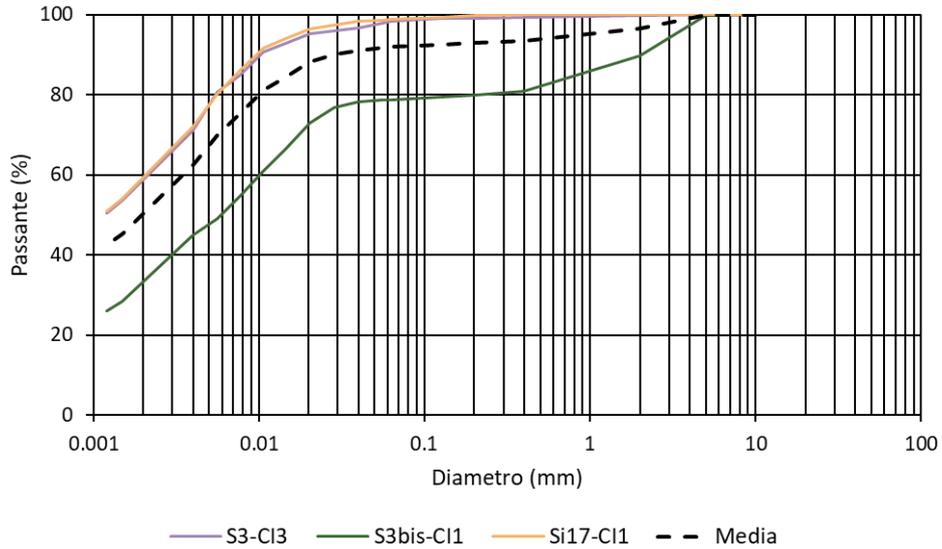
**Figura 6-3** Carta di plasticità di Casagrande (UG1)

Granulometria

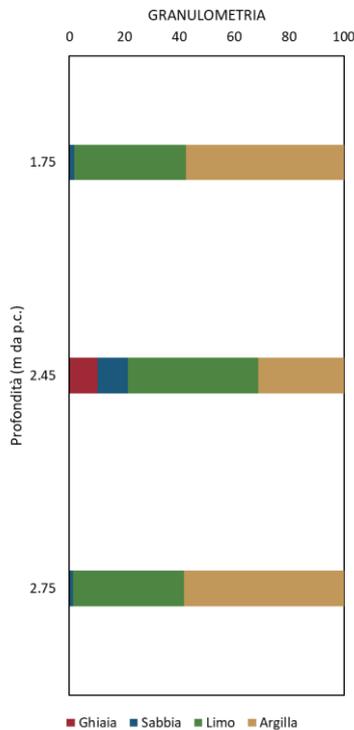
Ghiaia  $\approx 3\%$

PROGETTAZIONE ATI:

Sabbia ≈ 5%  
Limo ≈ 47%  
Argilla ≈ 45%



**Figura 6-4 Curve granulometriche campioni (UG1)**



**Figura 6-5 Granulometria (UG1)**

### 6.1.1.2. 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  $c' = 3 \div 10$  kPa

Angolo d'attrito  $\varphi' = 21^\circ \div 25^\circ$

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Angolo d'attrito  $\varphi' = 23^\circ \div 28^\circ$

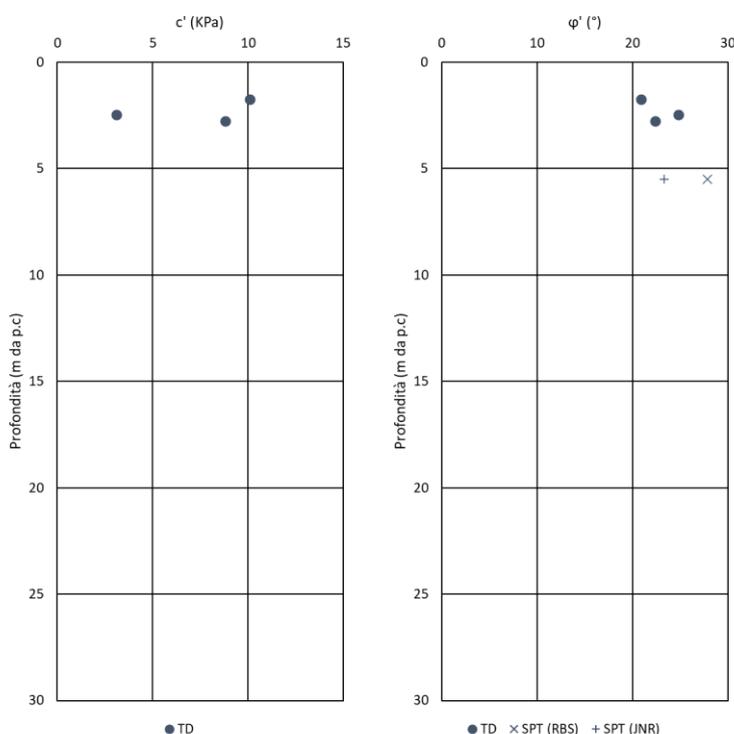


Figura 6-6 Caratteristiche meccaniche da prove in sito e laboratorio (UG1)

### 6.1.1.3. 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) (§4.2.1.1).

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Modulo di Young  $E = 5 \div 13$  MPa

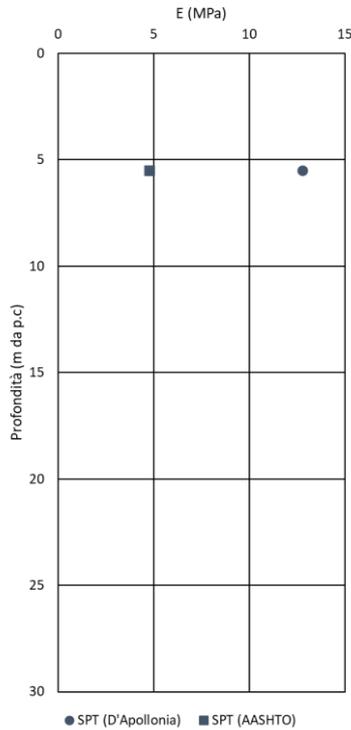


Figura 6-7 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG1)

### 6.1.2. UNITÀ GEOTECNICA 2

L'UG 2 è costituita da depositi eluvio-colluviali e depositi alluvionali attuali e terrazzati ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa in matrice sabbiosa. Nell'unità UG2 sono stati prelevati n. 10 campioni indisturbati (Q4, Q5) e 1 campione rimaneggiato (Q3).

#### 6.1.2.1. Caratteristiche fisiche

*Peso di volume*

Peso di volume allo stato naturale  $\gamma_n = 18 \div 23 \text{ kN/m}^3$

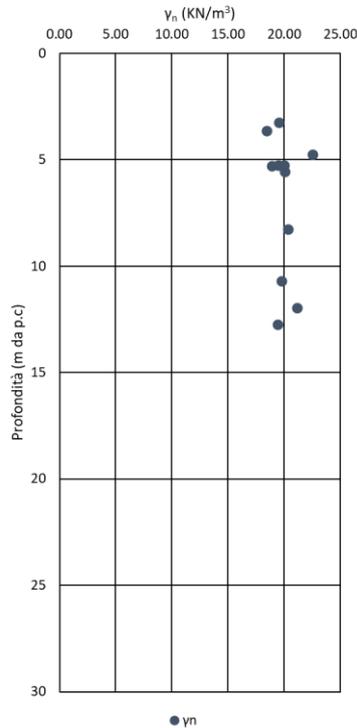


Figura 6-8 Peso di volume allo stato naturale (UG2)

*Contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg*

Contenuto d'acqua naturale	$w_n = 12 \div 28\%$
Limite liquido	$w_L = 19 \div 61\%$
Limite plastico	$w_P = 14 \div 22\%$
Indice di plasticità	$I_P = 2 \div 41\%$
Indice di consistenza	$I_C = 0.68 \div 1.87$

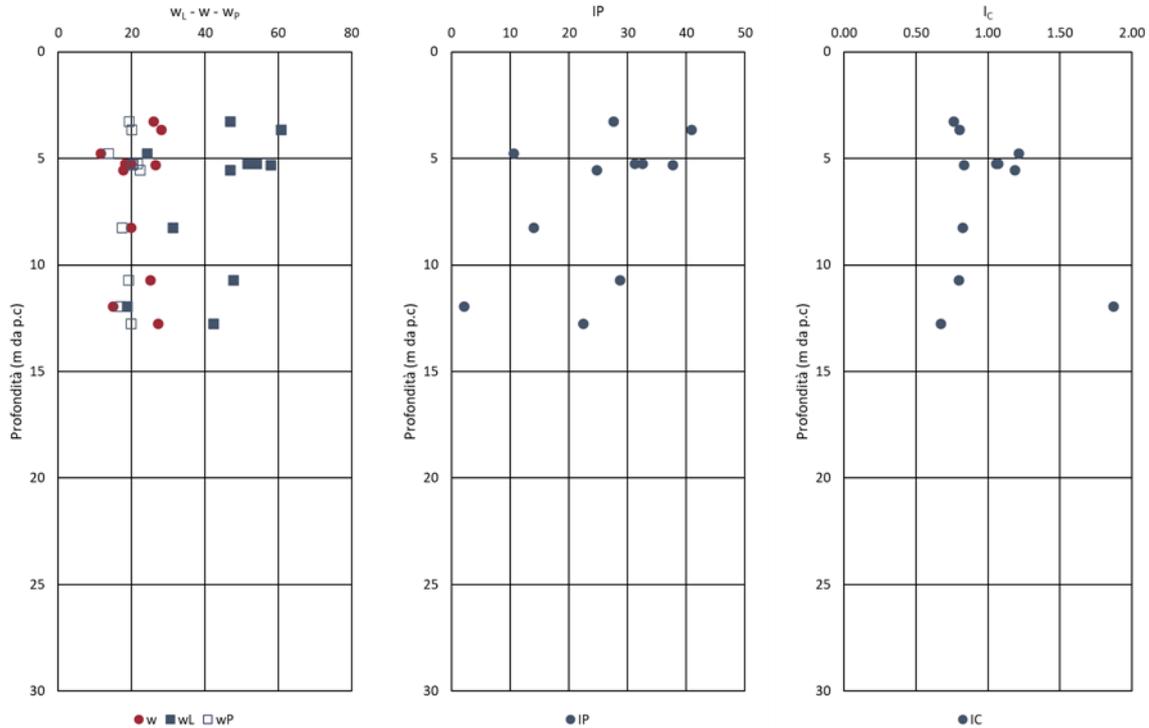


Figura 6-9 Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG2)

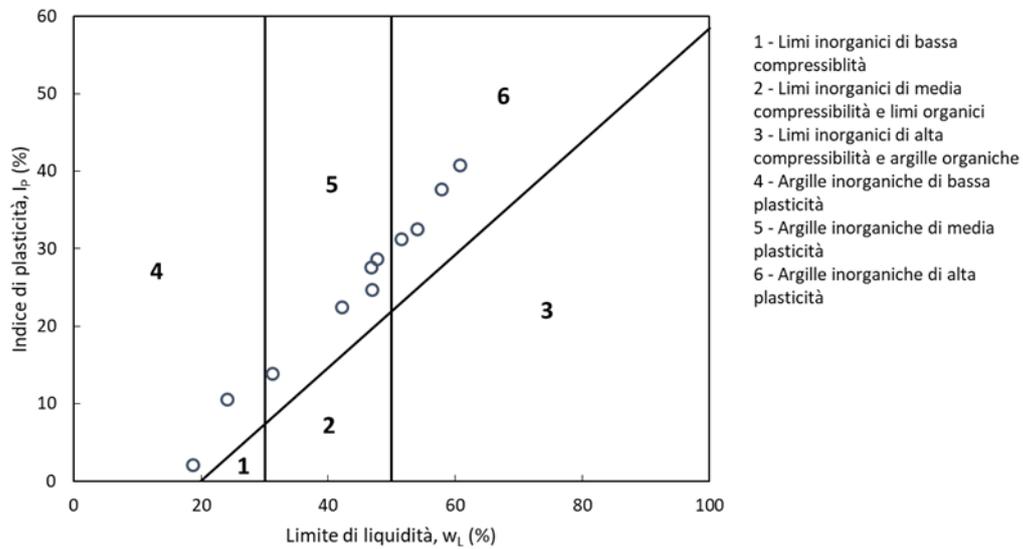
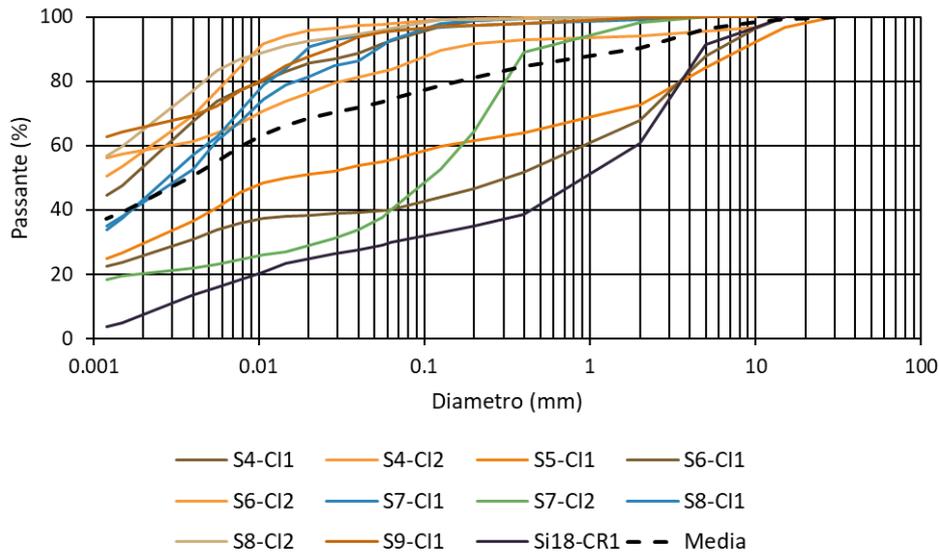


Figura 6-10 Carta di plasticità di Casagrande (UG2)

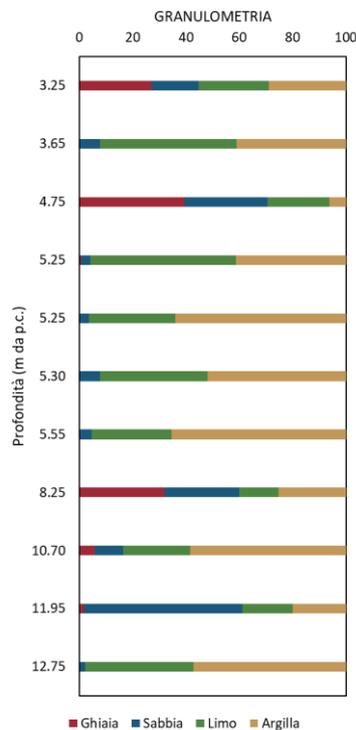
**Granulometria**

Ghiaia	≈ 10%
Sabbia	≈ 16%
Limo	≈ 35%
Argilla	≈ 39%

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 6-11 Curve granulometriche campioni (UG2)**



**Figura 6-12 Granulometria (UG2)**

### 6.1.2.2. 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  $c' = 6 \div 25$  kPa  
Angolo d'attrito  $\varphi' = 21^\circ \div 38^\circ$

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Angolo d'attrito  $\varphi' = 25^\circ \div 38^\circ$

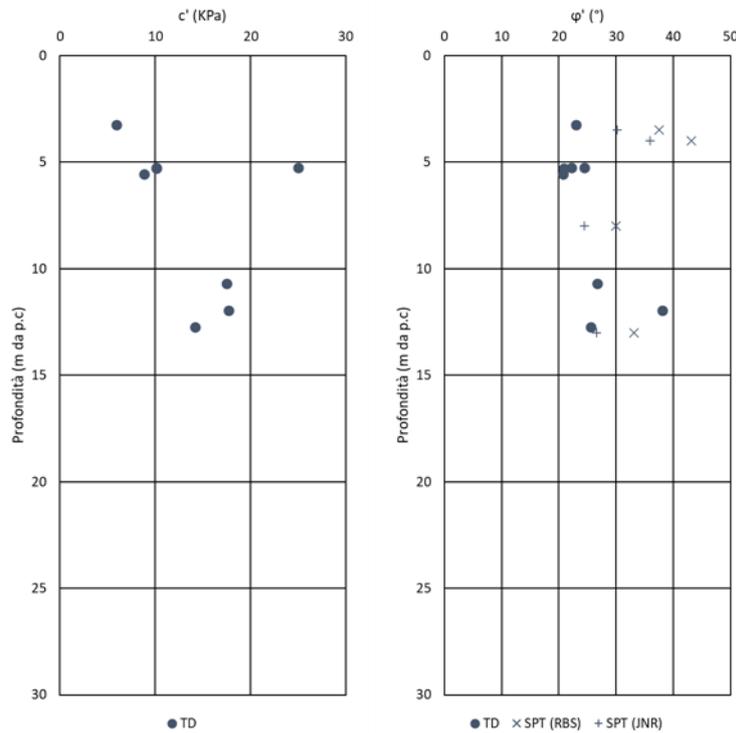


Figura 6-13 Caratteristiche meccaniche da prove in sito e laboratorio (UG2)

**6.1.2.3. 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) (§4.2.1.1).

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Modulo di Young  $E = 5 \div 60$  MPa

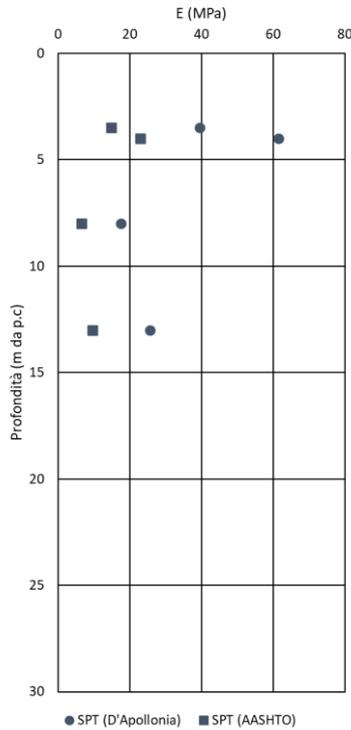


Figura 6-14 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG2)

### 6.1.3. UNITÀ GEOTECNICA 3

L'UG 3 è costituita dalla de formazione gessoso - solfifera ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una forte percentuale di componente limosa e argillosa in matrice sabbiosa. Nell'unità UG3 sono stati prelevati n. 22 campioni indisturbati (Q4 e Q5).

#### 6.1.3.1. Caratteristiche fisiche

*Peso di volume*

Peso di volume allo stato naturale  $\gamma_n = 18 \div 21 \text{ kN/m}^3$

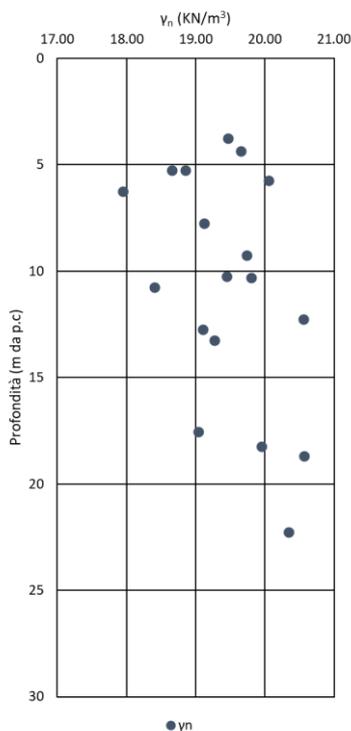


Figura 6-15 Peso di volume allo stato naturale (UG3)

*Contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg*

Contenuto d'acqua naturale	$w_n = 11 \div 34\%$
Limite liquido	$w_L = 24 \div 61\%$
Limite plastico	$w_P = 17 \div 23\%$
Indice di plasticità	$I_P = 7 \div 38\%$
Indice di consistenza	$I_C = 0.62 \div 1.52$

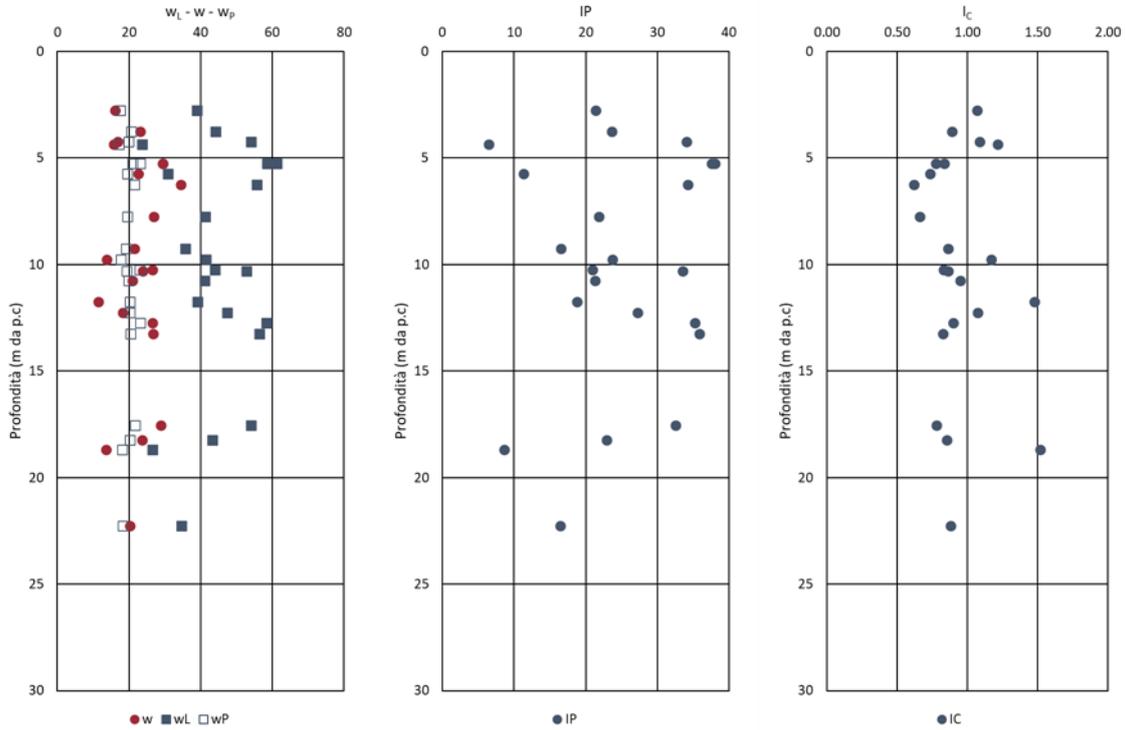


Figura 6-16 Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG3)

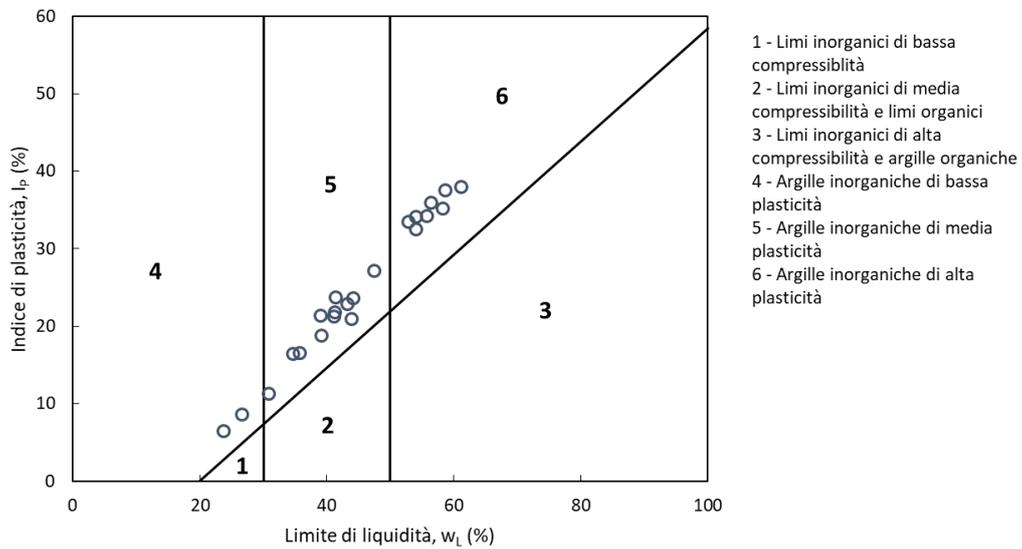
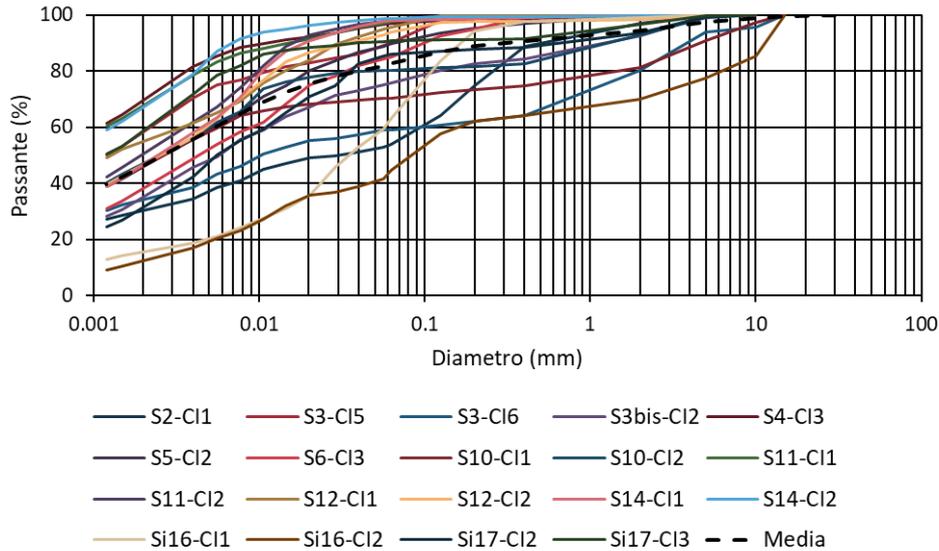


Figura 6-17 Carta di plasticità di Casagrande (UG3)

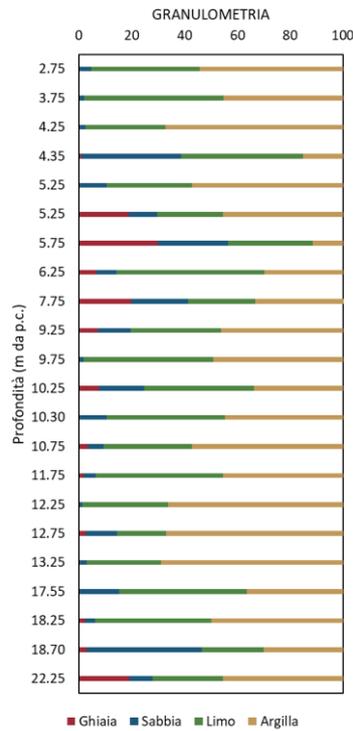
**Granulometria**

Ghiaia	≈ 6%
Sabbia	≈ 12%
Limo	≈ 40%
Argilla	≈ 42%

PROGETTAZIONE ATI:



**Figura 6-18 Curve granulometriche campioni (UG3)**



**Figura 6-19 Granulometria (UG3)**

### 6.1.3.2. 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  $c' = 5 \div 50$  kPa  
Angolo d'attrito  $\varphi' = 21^\circ \div 33^\circ$

*Prova triassiale TxCIU*

Coesione efficace  $c' = 8 \div 34$  kPa  
Angolo d'attrito  $\varphi' = 24^\circ \div 34^\circ$

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Angolo d'attrito  $\varphi' = 30^\circ \div 50^\circ$

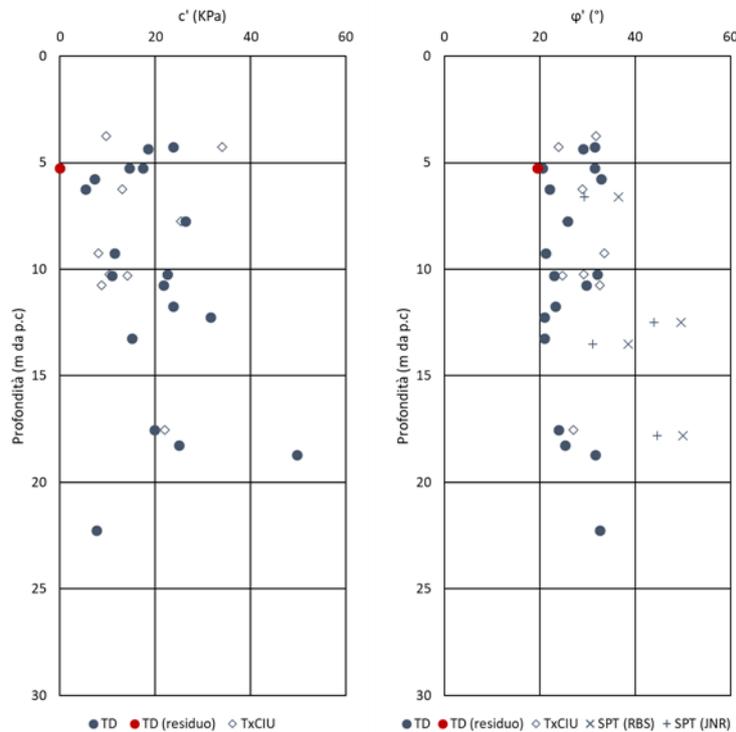


Figura 6-20 Caratteristiche meccaniche da prove in sito e laboratorio (UG3)

**6.1.3.3. 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) (§4.2.1.1).

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Modulo di Young  $E = 10 \div 90$  MPa

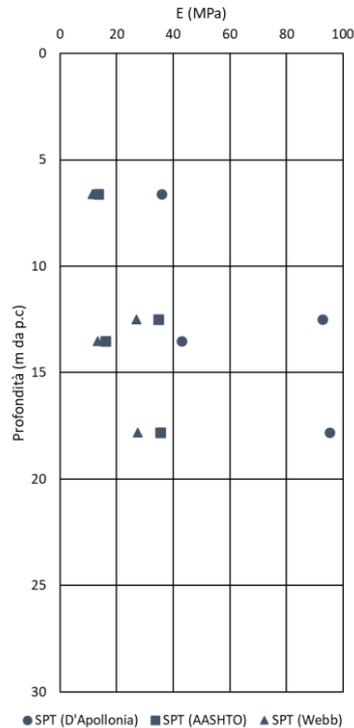


Figura 6-21 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG3)

#### 6.1.4. UNITÀ GEOTECNICA 4

L'UG 4 è costituita dalla litofacies pelitico-arenacea ed è caratterizzata da una granulometria che presenta una significativa percentuale di componente limosa e argillosa in matrice sabbiosa. Nell'unità UG4 sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati (Q4 e Q5).

##### 6.1.4.1. Caratteristiche fisiche

*Peso di volume*

Peso di volume allo stato naturale  $\gamma_n = 19 \div 21 \text{ kN/m}^3$

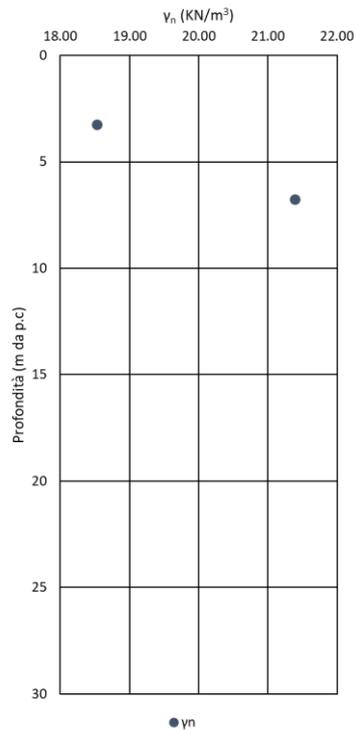


Figura 6-22 Peso di volume allo stato naturale (UG4)

*Contenuto naturale d'acqua e limiti di Atterberg*

Contenuto d'acqua naturale	$w_n = 12 \div 15\%$
Limite liquido	$w_L = 41 \div 63\%$
Limite plastico	$w_P = 18 \div 22\%$
Indice di plasticità	$I_P = 23 \div 41\%$
Indice di consistenza	$I_C = 1.16 \div 1.26$

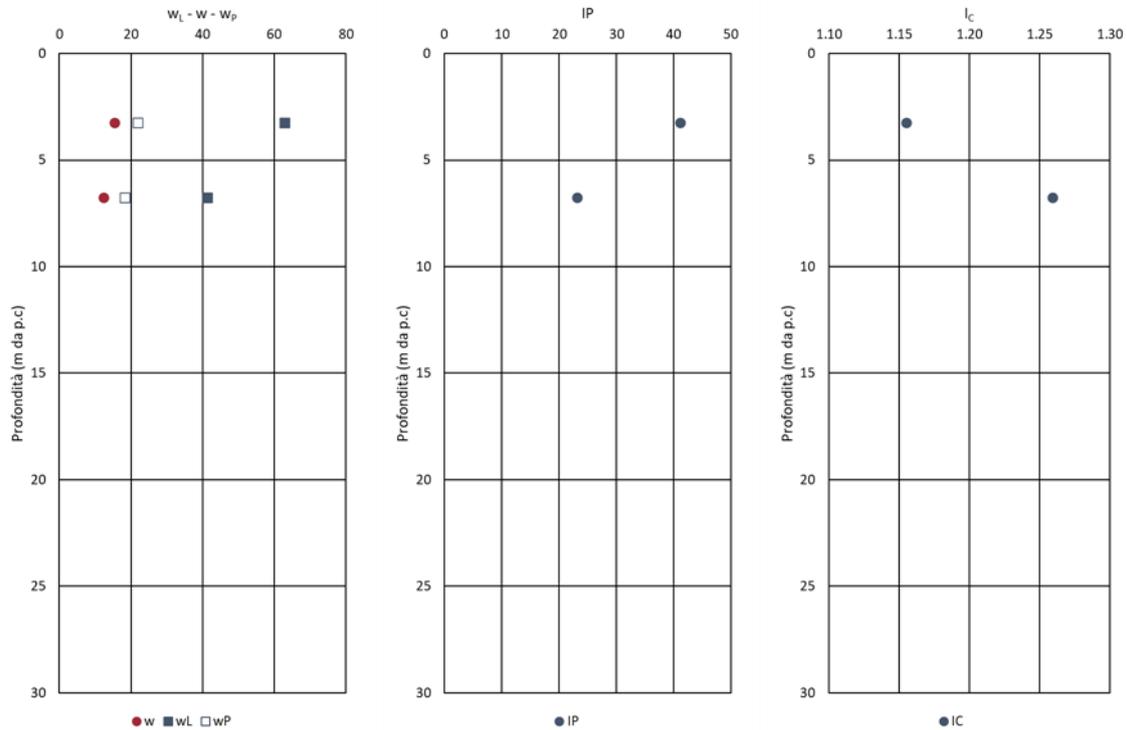


Figura 6-23 Contenuto naturale d'acqua, limiti di Atterberg e indice di plasticità e consistenza (UG4)

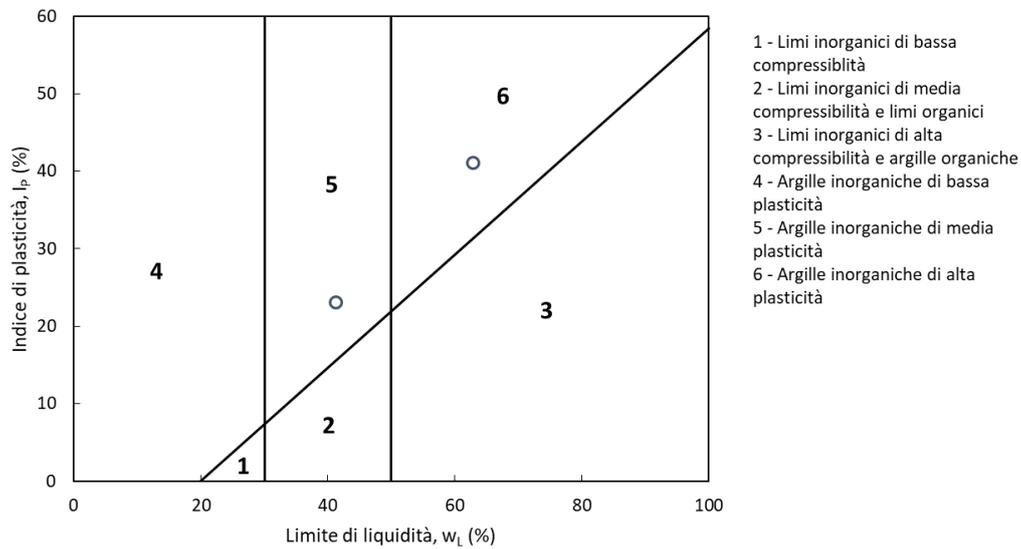


Figura 6-24 Carta di plasticità di Casagrande (UG4)

**Granulometria**

Ghiaia	≈ 1%
Sabbia	≈ 27%
Limo	≈ 24%
Argilla	≈ 48%

PROGETTAZIONE ATI:

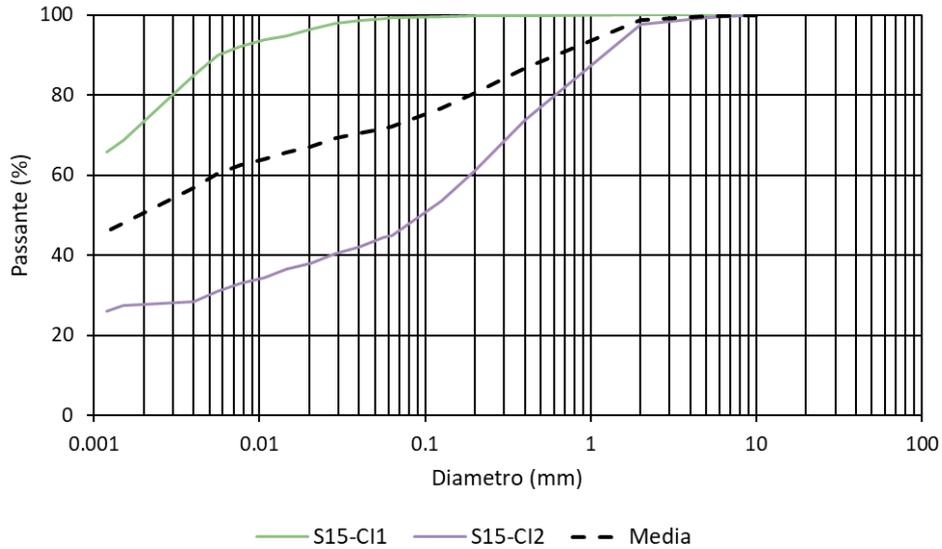


Figura 6-25 Curve granulometriche campioni (UG4)

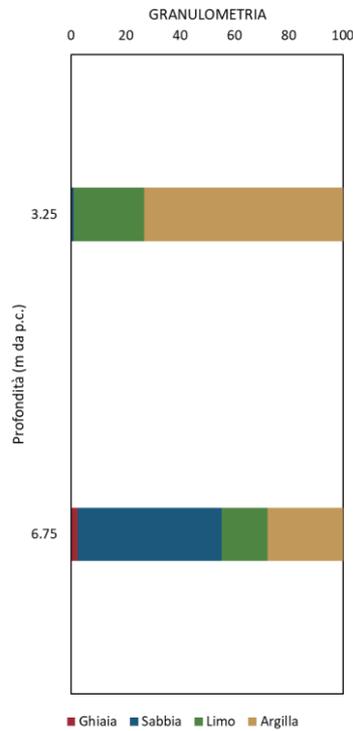


Figura 6-26 Granulometria (UG4)

**6.1.4.2. 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.

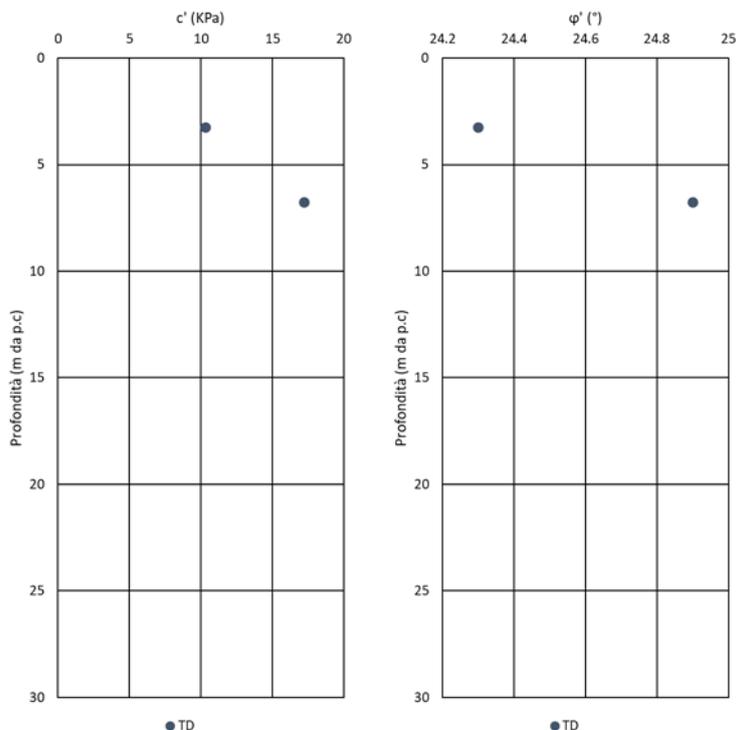
*Prova di taglio diretto TD*

Coesione efficace

$$c' = 10 \div 17 \text{ kPa}$$

Angolo d'attrito

$$\varphi' = 24^\circ \div 25^\circ$$



**Figura 6-27 Caratteristiche meccaniche da prove in sito e laboratorio (UG4)**

**6.1.4.3. 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) (§4.2.1.1).

*Prova penetrometrica dinamica (SPT)*

Modulo di Young

$$E = 30 \div 120 \text{ MPa}$$

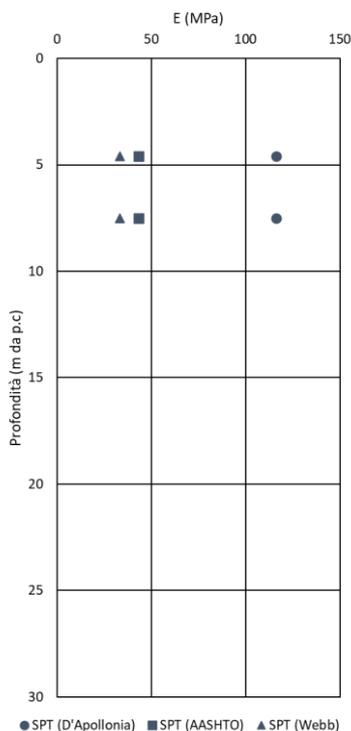


Figura 6-28 Caratteristiche di deformabilità da prove in sito (UG4)

## 6.2. SINTESI PARAMETRI 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.

I valori caratteristici per le singole unità geotecniche sono riassunti nella Tabella 6-1 e nel profilo geotecnico di progetto (T01GE00GETFG01).

Tabella 6-1 Sintesi parametri caratteristici

UG	Descrizione	$\gamma_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$c_u$ (kPa)	E (MPa)
1	Limo con argilla	19 ÷ 20	5 ÷ 10	20 ÷ 23	-	10
2	Argilla con limo sabbiosa	19 ÷ 20	10 ÷ 20	22 ÷ 28	-	15 ÷ 30
3	Argilla con limo sabbiosa	19 ÷ 20	10 ÷ 20	25 ÷ 30	100 ÷ 200	30 ÷ 40 (z < 15 m) 50 ÷ 70 (z > 15 m)

---

4	Arenaria	20 ÷ 22	10 ÷ 20	30 ÷ 35	-	10 ÷ 50 (z<10 m) 50 ÷ 80 (z>10 m)
---	----------	---------	---------	---------	---	--------------------------------------

---

## 7. PROBLEMATICHE GEOTECNICHE

### 7.1. RILEVATI

I rilevati presentano scarpate con pendenza 3/2 (H/V). Per altezze del rilevato superiori ai 4 m è prevista una banca di larghezza pari a 2 m.

#### 7.1.1. ANALISI DI STABILITÀ

Di seguito si riposta la verifica di stabilità (in condizioni statiche e in condizioni sismiche) del rilevato per una sezione di altezza pari a 4 m. I parametri fisico-meccanici assunti per il rilevato di nuova costruzione sono  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ ,  $c' = 0 \text{ kPa}$ ,  $\phi' = 32^\circ$ , mentre per il terreno di base i parametri fisico-meccanici sono quelli caratteristici dell'unità geotecnica UG2.

La verifica di stabilità risulta soddisfatta sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche.

Per la verifica in condizione sismica si sono utilizzati i seguenti parametri (SLV).

Coordinate del sito:

- Lat: 43.134142° (N)

- Lon: 13.228697° (E)

Vita nominale  $V_N = 50$  anni

Classe d'uso *Classe IV*

Vita di riferimento  $V_R = 100$  anni

$a_g = 0.229 \text{ g} = 2.25 \text{ m/s}^2$

$F_0 = 2.531$

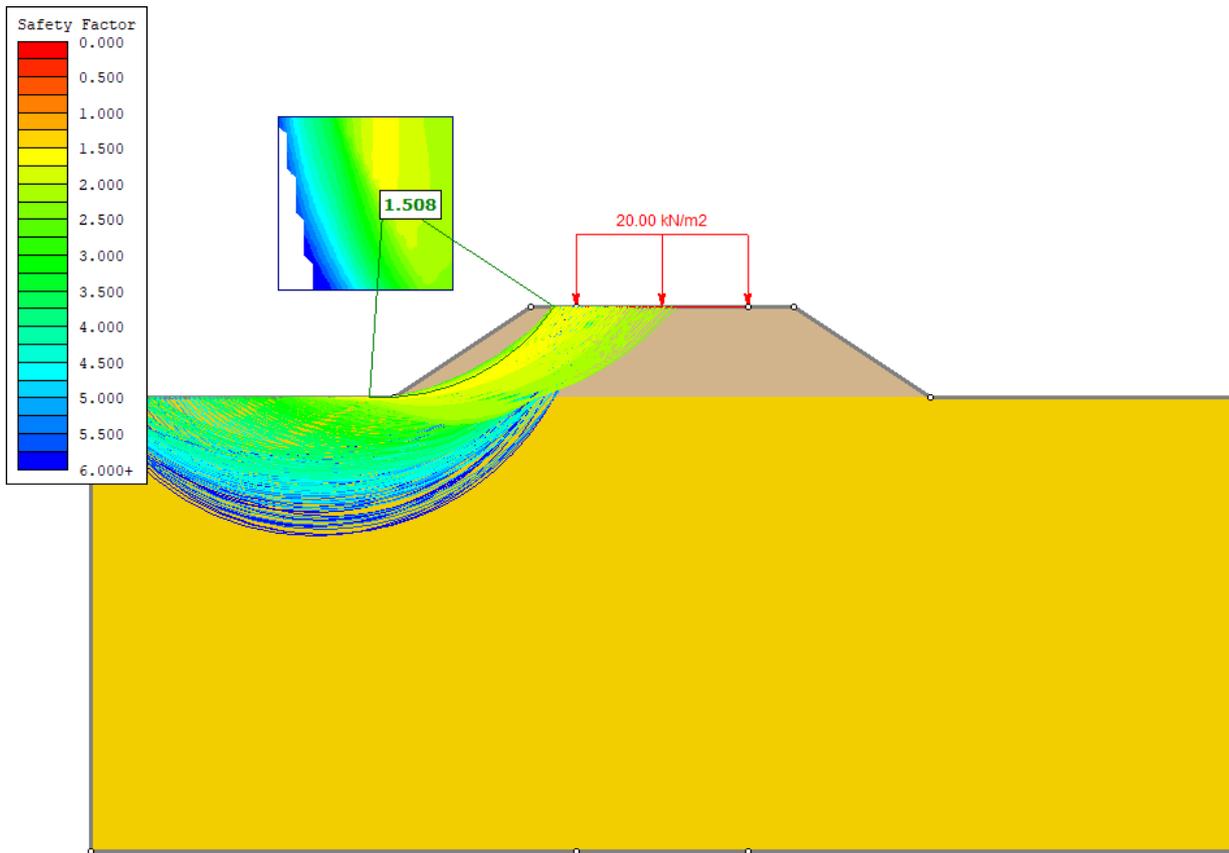
$T^*_C = 0.344 \text{ s}$

$S_S = 1.17$

$S_T = 1.20$

$$k_h = \frac{a_g}{g} \cdot S_S \cdot S_T \cdot \beta = 0.122$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h = 0.061$$



**Figura 7-1 Stabilità rilevato h = 4 m, condizioni statiche (FS = 1.51)**

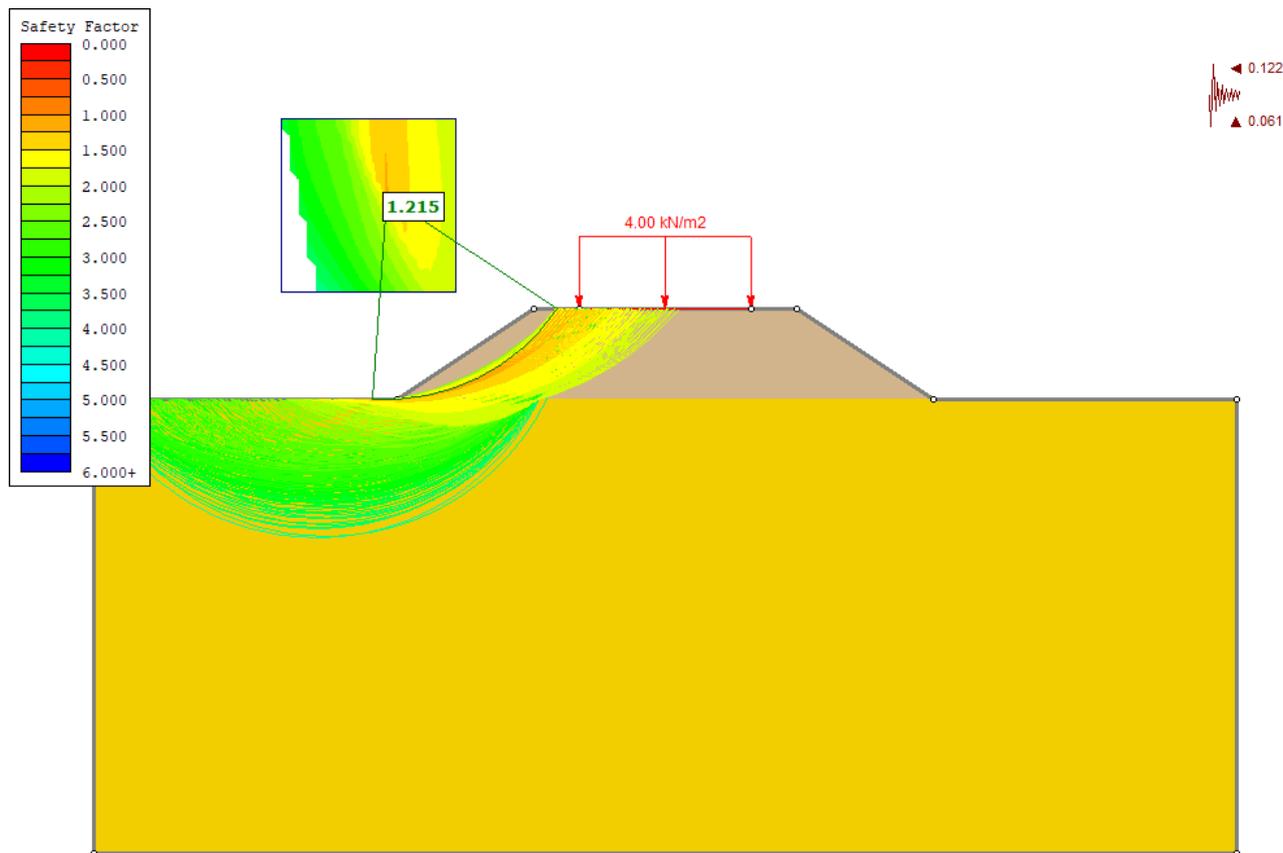


Figura 7-2 Stabilità rilevato h = 4 m, condizioni sismiche (FS = 1.22)

## 7.2. TRINCEE

Le trincee presentano scarpate con pendenza 3/2 (H/V).

### 7.2.1. ANALISI DI STABILITÀ

Di seguito si riposta la verifica di stabilità (in condizioni statiche e in condizioni sismiche) della trincea per una sezione di altezza pari a 4 m.

I parametri fisico-meccanici assunti per il terreno sono quelli caratteristici dell'unità geotecnica UG2. La verifica di stabilità risulta soddisfatta sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche.

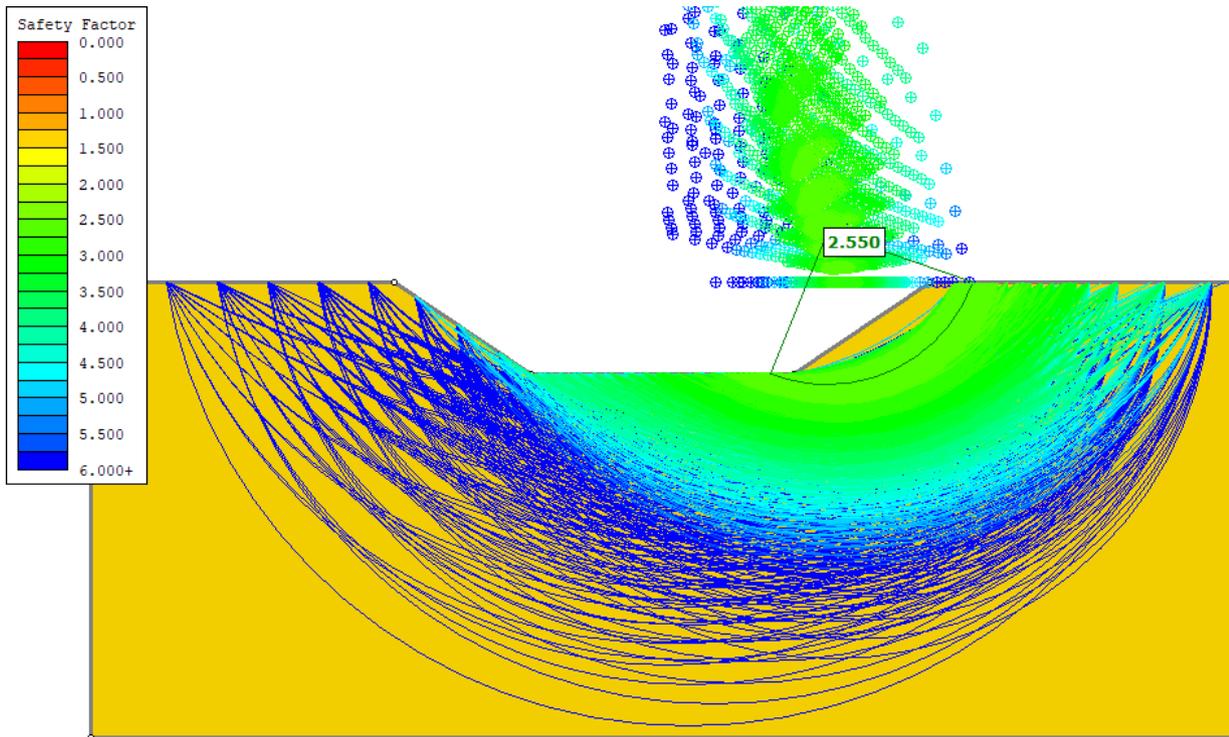
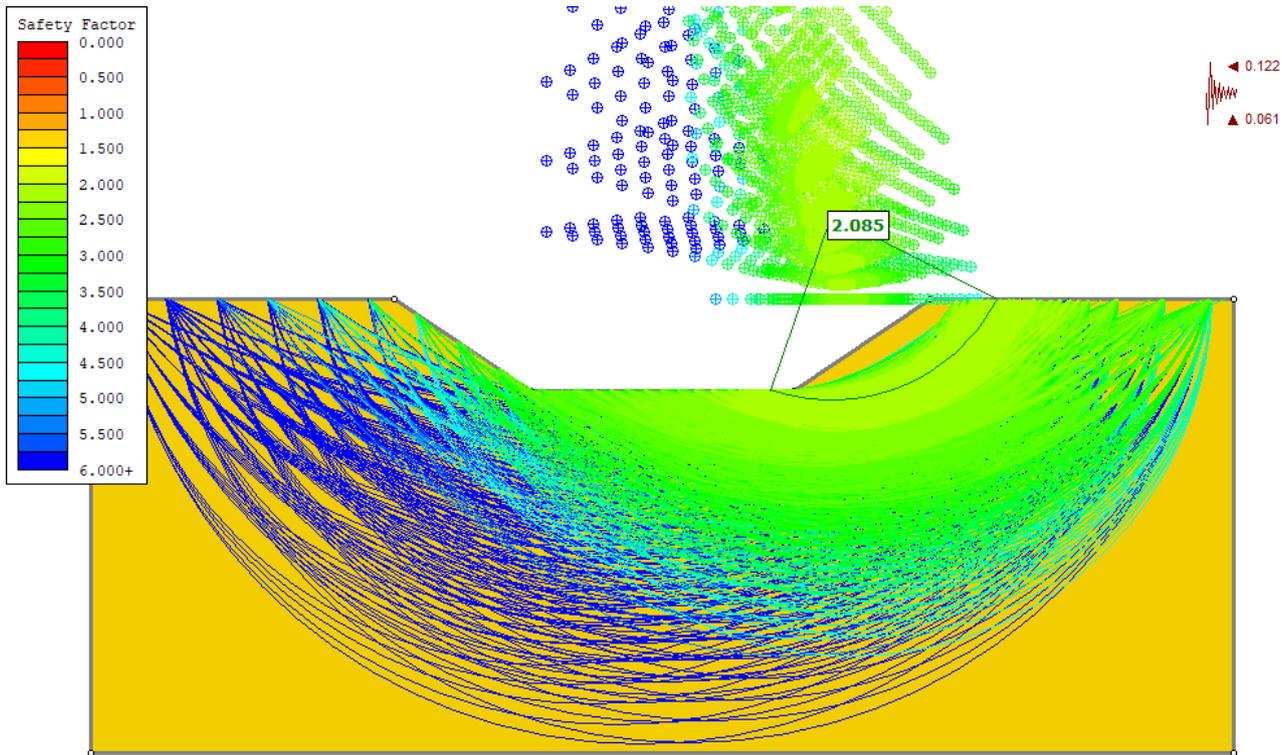


Figura 7-3 Stabilità trincea  $h = 4$  m, condizioni statiche (FS = 2.55)



**Figura 7-4 Stabilità trincea h = 4 m, condizioni sismiche (FS = 2.09)**

## 8. PROGETTO PRELIMINARE DI MONITORAGGIO GEOTECNICO-STRUTTURALE

Lo scopo del progetto di monitoraggio, in accordo alle "Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico" e del § 6.2.6 del DM 17/01/2018, è di:

- verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e il comportamento osservato;
- verificare la qualità delle prestazioni dell'opera dopo la costruzione.

Note le condizioni di progetto, la scelta della strumentazione da installare è una diretta conseguenza dei parametri che si intendono monitorare.

Nella tabella che segue si riportano le strumentazioni necessarie alla misura delle grandezze per il monitoraggio geotecnico e delle opere geotecniche.

Tabella 8-1 Grandezze da misurare e strumentazione prevista

	Grandezza da misurare	Strumentazione prevista
Regime idraulico	Misura delle pressioni interstiziali	Piezometri a tubo aperto
Controllo degli spostamenti in funzione della profondità	Spostamenti	Inclinometri
Comportamento delle strutture (muri e paratie)	Spostamento struttura, carico sui tiranti	Mire ottiche, inclinometri, celle di carico
Comportamento delle strutture (viadotti)	Spostamento struttura, deformazione dei pali	Mire ottiche, inclinometri, barre estensimetriche

Gli strumenti di monitoraggio dovranno essere installati:

- all'esterno, almeno tre mesi prima dell'inizio dei lavori, in modo da poter acquisire un numero di dati significativi ai fini della valutazione della situazione "ante-operam";
- all'interno delle parti componenti l'opera durante le fasi realizzative.

### 8.1. OPERE D'ARTE MINORI – PARATIE

Le indicazioni per il monitoraggio delle paratie sono l'installazione di sezioni di misura attrezzate con:

- tubo inclinometrico in alluminio, di lunghezza variabile in funzione della lunghezza dei pali ed in relazione alla lunghezza dell'opera;
- mire ottiche installate sul cordolo di testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 15/20 m;
- mire ottiche lungo il fusto dei pali e sul rivestimento, in funzione delle diverse sezioni di calcolo;
- celle di carico elettriche per il monitoraggio del carico dei tiranti (in funzione delle diverse sezioni di calcolo).

Nella Tabella 8-2 si riporta il numero di strumentazioni (il cui posizionamento è rappresentato nella sezione tipo in Figura 8-1) necessarie per il monitoraggio di 100 m di paratia.

Tabella 8-2 Numero di strumentazioni necessarie per 100 m di paratia

L (m)	100
n. sezioni	3

n. mire ottiche	8
n. inclinometri	3
n. celle di carico	3 × livelli tiranti

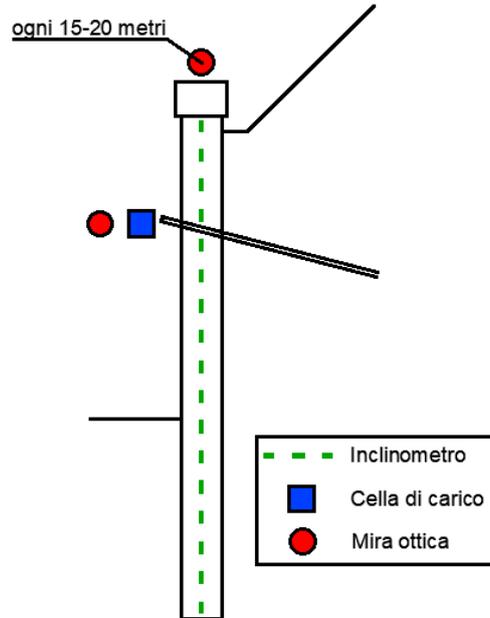


Figura 8-1 Posizionamento delle strumentazioni sulla paratia

## 8.2. OPERE D'ARTE MINORI – MURI DI SOSTEGNO

Per il monitoraggio dei muri di sostegno sono previste sezioni di misura attrezzate con:

- mire ottiche installate sul cordolo di testa, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 6 m;
- mire ottiche sulla mensola di valle (sul ricoprimento) per valutare la rotazione dell'opera di sostegno, con una distribuzione di circa 1 mira ogni 12 m.

Nella Tabella 8-3 si riporta il numero di mire ottiche (il cui posizionamento è rappresentato nella sezione tipo Figura 8-2) necessarie per il monitoraggio di 100 m di muro.

Tabella 8-3 Numero di mire ottiche per 100 m di muro

L (m)	100
n. mire ottiche	25

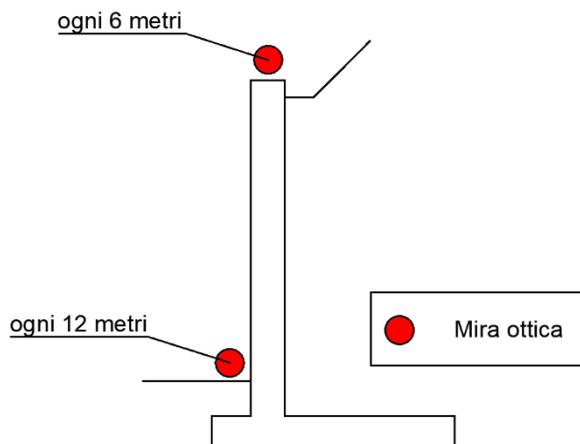


Figura 8-2 Posizionamento delle mire ottiche sui muri di sostegno

### 8.3. OPERE D'ARTE MAGGIORI – VIADOTTI

Per le fondazioni di spalle e pile dei viadotti è prevista l'installazione della seguente strumentazione:

- n. 2 mire ottiche per ogni pila e spalla;
- n. 1 inclinometro per ogni fondazione;
- n. 3 coppie di barre estensimetriche per i pali di fondazione (n. 2 pali monitorati per fondazione).

Tabella 8-4 Numero di strumentazioni necessarie per le fondazioni dei viadotti

n. mire ottiche	2
n. inclinometri	1
n. barre estensimetriche	2 × 6

### 8.4. FREQUENZA DELLE LETTURE

Il monitoraggio deve prevedere la lettura iniziale delle strumentazioni, da effettuare durante la costruzione della singola opera e di letture successive per tutta la durata di realizzazione dell'intera infrastruttura fino ad un anno dopo il termine dei lavori.

La frequenza delle misurazioni dalle indicazioni contenute nelle "Linee Guida ANAS per il Monitoraggio Geotecnico" è riassunta per le due opere di sostegno presentate in precedenza nella Tabella 8-5.

Tabella 8-5 Frequenza delle letture per le singole opere d'arte

Strumentazione	Ante operam	Realizzazione	Corso d'opera			Post operam
	3 mesi		0 – 6 mesi	6 – 12 mesi	> 12 mesi	12 mesi
	<b>Paratie</b>					
Mire Ottiche		1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg

PROGETTAZIONE ATI:

Inclinometri	1/15 gg	1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg
Celle di carico		3/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg
<b>Muri a mensola</b>						
Mire Ottiche		1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg
<b>Viadotti</b>						
Mire Ottiche		1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg
Inclinometri		1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg
Barre estensimetriche		1/7 gg	1/15 gg	1/30 gg	1/60 gg	1/60 gg

## 9. ALLEGATI

### 9.1. RISULTATI INDAGINI DI LABORATORIO

Nella tabella successiva si riportano i risultati di laboratorio ottenuti.

Sondaggio	Profondità	Quota assoluta	Campione	Profondità campione				Classificazione AGI	Unità geotecnica	Contenuto naturale d'acqua	Peso di volume naturale	Peso di volume essiccato	Limite liquido	Limite plastico	Indici di plasticità	Indice di consistenza	Granulometria				Prova TD				Prova TxCID		Prova TxCIU		Prova TxUU/ELL	
				z <sub>cam,0</sub>	z <sub>cam,f</sub>	z <sub>cam,m</sub>	QA <sub>cam</sub>										Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	c'	φ'	c' <sub>res</sub>	φ' <sub>res</sub>	c'	φ'	c'	φ'	c' <sub>u</sub>	c <sub>u</sub>
	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)			
S2	30	292.0	Cl1	18.50	18.90	18.70	273.30	Sabbia con argilla e limo	UG3	13.60	20.57	21.27	26.60	18.00	8.60	1.517	2.99	43.54	23.51	29.96	50	32								
S3	20	313.0	Cl3	1.50	2.00	1.75	311.25	Argilla limosa	UG1	24.00	19.42	19.73	52.30	22.20	30.10	0.941	0.17	1.57	40.77	57.49	10	21								
S3	20	313.0	Cl5	5.00	5.50	5.25	307.75	Argilla con limo e sabbia	UG3	29.40	18.85	19.01	61.20	23.20	38.00	0.836	0.00	10.44	32.30	57.26	15	32	0	20						
S3	20	313.0	Cl6	7.50	8.00	7.75	305.25	Argilla con limo, sabbia e ghiaia	UG3	26.90	19.12	19.23	41.30	19.50	21.80	0.662	19.94	21.50	25.40	33.61	26	26					25	26		
S3bis	20	307.0	Cl1	2.30	2.60	2.45	304.55	Limo con argilla, sabbia e ghiaia	UG1	23.70	17.82	18.70	44.80	22.40	22.40	0.940	10.22	11.07	47.58	31.13	3	25								
S3bis	20	307.0	Cl2	10.00	10.50	10.25	296.75	Limo con argilla e sabbia debil. ghiaioso	UG3	26.50	19.45	19.47	43.90	23.00	20.90	0.831	7.51	17.15	41.73	33.61	23	32					10	29		
S4	20	323.0	Cl1	5.00	5.60	5.30	317.70	Argilla con limo debil. sabbiosa	UG2	26.40	18.89	19.25	57.80	20.10	37.70	0.833	0.00	7.84	40.31	51.85	10	21							140	
S4	20	323.0	Cl2	10.40	11.00	10.70	312.30	Argilla con limo e sabbia debil. ghiaiosa	UG2	25.00	19.75	19.77	47.70	19.10	28.60	0.793	5.99	10.63	25.14	58.24	18	27					3	33		
S4	20	323.0	Cl3	13.00	13.50	13.25	309.75	Argilla con limo	UG3	26.70	19.27	19.49	56.40	20.50	35.90	0.827	0.59	2.50	27.95	68.96	15	21								
S5	30	315.0	Cl1	3.00	3.50	3.25	311.75	Argilla con ghiaia, limo e sabbia	UG2	25.90	19.57	19.63	46.80	19.20	27.60	0.758	27.26	17.42	26.54	28.78	6	23								
S5	30	315.0	Cl2	10.00	10.60	10.30	304.70	Limo argilloso con sabbia	UG3	23.80	19.80	19.98	52.80	19.30	33.50	0.865	0.40	10.24	44.78	44.58	11	23					14	25		
S6	30	327.0	Cl1	8.00	8.50	8.25	318.75	Ghiaia con sabbia, argilla e limo	UG2	19.70	20.36	20.52	31.20	17.30	13.90	0.823	32.05	28.01	14.69	25.25										
S6	30	327.0	Cl2	12.50	13.00	12.75	314.25	Argilla limosa	UG2	27.20	19.41	19.47	42.20	19.80	22.40	0.671	0.03	2.16	40.63	57.18	14	26								
S6	30	327.0	Cl3	17.30	17.80	17.55	309.45	Limo argilloso con sabbia	UG3	28.80	19.04	19.14	54.10	21.60	32.50	0.779	0.00	15.29	48.25	36.46	20	24					22	27		
S7	16	337.0	Cl1	5.00	5.50	5.25	331.75	Limo argilloso	UG2	19.80	19.99	20.48	54.00	21.50	32.50	1.054	0.83	3.33	54.52	41.32	10	25								

PROGETTAZIONE ATI:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Sondaggio	Profondità	Quota assoluta	Campione	Profondità campione				Classificazione AGI	Unità geotecnica	Contenuto naturale d'acqua	Peso di volume naturale	Peso di volume essiccato	Limite liquido	Limite plastico	Indici di plasticità	Indice di consistenza	Granulometria				Prova TD				Prova TxCID		Prova TxCIU		Prova TxUU/ELL		
				Z <sub>cam,0</sub>	Z <sub>cam,f</sub>	Z <sub>cam,m</sub>	QA <sub>cam</sub>										Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	c'	φ'	c' <sub>res</sub>	φ' <sub>res</sub>	c'	φ'	c'	φ'	c <sub>u</sub>	c <sub>u</sub>	
	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)		
S7	16	337.0	CI2	11.70	12.20	11.95	325.05	Sabbia con argilla e limo	UG2	14.80	21.17	21.42	18.80	16.70	2.10	1.868	1.76	59.53	18.72	19.99	18	38									
S8	30	360.0	CI1	3.40	3.90	3.65	356.35	Limo argilloso debil. Sabbioso	UG2	28.10	18.44	18.92	60.70	19.90	40.80	0.798	0.05	7.87	51.23	40.85											
S8	30	360.0	CI2	5.00	5.50	5.25	354.75	Argilla con limo	UG2	18.20	19.49	20.23	51.50	20.30	31.20	1.067	0.05	3.73	32.29	63.93	25	22									
S9	20	363.0	CI1	5.30	5.80	5.55	357.45	Argilla con limo	UG2	17.70	20.06	20.51	46.90	22.20	24.70	1.185	0.22	4.37	29.94	65.47	9	21									
S10	30	366.0	CI1	5.00	5.50	5.25	360.75	Argilla con limo, ghiaia e sabbia	UG3	29.50	18.66	18.99	58.60	21.00	37.60	0.775	18.87	10.81	25.02	45.30	17	21							104		
S10	30	366.0	CI2	9.00	9.50	9.25	356.75	Argilla con limo e sabbia debil. ghiaiosa	UG3	21.50	19.74	20.07	35.70	19.20	16.50	0.862	7.11	12.60	34.21	46.08	11	21					8	34			
S11	20	391.0	CI1	4.00	4.50	4.25	386.75	Argilla con limo	UG3	16.90			54.00	19.90	34.10	1.090	0.00	2.55	30.24	67.21	24	32			0	30	34	24			
S11	20	391.0	CI2	9.50	10.00	9.75	381.25	Limo argilloso	UG3	13.70			41.40	17.70	23.70	1.169	0.00	1.87	49.16	48.97											
S12	20	397.0	CI1	2.50	3.00	2.75	394.25	Argilla limosa	UG3	16.10			39.00	17.60	21.40	1.070	0.00	4.73	41.11	54.16											
S12	20	397.0	CI2	11.50	12.00	11.75	385.25	Limo argilloso	UG3	11.40			39.10	20.30	18.80	1.479	1.81	4.67	48.17	45.35	24	23			0	17					
S14	18	416.0	CI1	3.50	4.00	3.75	412.25	Limo argilloso	UG3	23.20	19.47	19.89	44.20	20.60	23.60	0.892	0.00	2.05	52.73	45.22							10	32			
S14	18	416.0	CI2	12.00	12.50	12.25	403.75	Argilla con limo	UG3	18.20	20.56	20.85	47.40	20.20	27.20	1.072	0.23	1.09	32.51	66.17	32	21									
S15	20	408.0	CI1	3.00	3.50	3.25	404.75	Argilla con limo	UG4	15.40	18.53	20.05	62.90	21.80	41.10	1.155	0.06	0.72	26.05	73.17	10	24									
S15	20	408.0	CI2	6.50	7.00	6.75	401.25	Sabbia argillosa con limo	UG4	12.30	21.39	21.86	41.30	18.20	23.10	1.259	2.32	52.97	16.90	27.81	17	25								186	
Si16	30	284.0	CI1	4.20	4.50	4.35	279.65	Limo con sabbia e argilla	UG3	15.80	19.65	20.55	23.70	17.20	6.50	1.215	0.94	37.78	46.30	14.98	19	29									
Si16	30	284.0	CI2	5.50	6.00	5.75	278.25	Limo con ghiaia, sabbia e argilla	UG3	22.60	20.05	20.22	30.90	19.60	11.30	0.733	29.99	26.62	31.97	11.42	7	33									
Si17	25	304.0	CI1	2.50	3.00	2.75	301.25	Argilla limosa	UG1	25.40	19.31	19.59	53.00	22.50	30.50	0.903	0.00	1.25	40.54	58.21	9	22									
Si17	25	304.0	CI2	6.00	6.50	6.25	297.75	Limo con argilla debil. sabbiosa e ghiaiosa	UG3	34.40	17.95	18.23	55.70	21.50	34.20	0.620	6.60	7.51	56.25	29.64	5	22					13	29			
Si17	25	304.0	CI3	10.50	11.00	10.75	293.25	Argilla con limo debil. sabbioso	UG3	20.90	18.40	19.28	41.10	19.80	21.30	0.949	3.53	5.84	33.43	57.20	22	30					9	33			

PROGETTAZIONE ATI:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Sondaggio	Profondità	Quota assoluta	Campione	Profondità campione				Classificazione AGI	Unità geotecnica	Contenuto naturale d'acqua	Peso di volume naturale	Peso di volume essiccato	Limite liquido	Limite plastico	Indici di plasticità	Indice di consistenza	Granulometria				Prova TD				Prova TxCID		Prova TxCIU		Prova TxUU/ELL		
				Z <sub>cam,0</sub>	Z <sub>cam,f</sub>	Z <sub>cam,m</sub>	QA <sub>cam</sub>										Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	c'	φ'	c' <sub>res</sub>	φ' <sub>res</sub>	c'	φ'	c'	φ'	c <sub>u</sub>	c <sub>u</sub>	
	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m s.l.m.)		(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(%)	(%)	(%)	(-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)		
Si18	30	316.0	CR1	4.50	5.00	4.75	311.25	Ghiaia con sabbia e limo debil. argillosa	UG2	11.50	22.56	22.56	24.20	13.70	10.50	1.212	39.49	31.11	23.25	6.15											
Si18	30	316.0	CI2	12.50	13.00	12.75	303.25	Argilla con limo e sabbia	UG3	26.60	19.10	19.32	58.30	23.10	35.20	0.900	2.61	11.78	18.77	66.84											
Si18	30	316.0	CI3	18.00	18.50	18.25	297.75	Argilla limosa	UG3	23.70	19.95	20.07	43.20	20.30	22.90	0.853	2.23	3.89	43.96	49.92	25	25									
Si18	30	316.0	CI4	22.00	22.50	22.25	293.75	Argilla con limo e sabbia debil. sabbiosa	UG3	20.20	20.34	20.56	34.70	18.30	16.40	0.880	19.19	8.73	26.56	45.55	8	33									