

Collegamento tra l'A4 (Torino–Milano) in località Santhià, Biella, Gattinara e l'A26 (Genova Voltri–Gravellona) in località Ghemme. Lotto 1

**PROGETTO DEFINITIVO**

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

**I PROGETTISTI:**

ing. Vincenzo Marzi  
Ordine Ing. di Bari n.3594  
ing. Achille Devitofranceschi  
Ordine Ing. di Roma n.19116

**IL GEOLOGO:**

geol. Serena Majetta  
Ordine Geol. del Lazio n.928

**RESPONSABILE DEL SIA**

arch. Giovanni Magarò  
Ordine Arch. di Roma n.16183

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

geom. Fabio Quondam

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO :**

ing. Nicolò Canepa

PROTOCOLLO

DATA

**RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE**

**CODICE PROGETTO**

PROGETTO      LIV. PROG.      N. PROG.

DPT007    D    1701

**NOME FILE**

T00\_GE00\_GET\_RE01\_B.pdf

**REVISIONE**

**SCALA:**

CODICE ELAB. T00 GE00 GET RE01

B

—

C

B

Emissione a seguito richieste iter approvativo

31/8/2019

Ing. A. Mangiola

Ing. E. Mittiga

Ing. A. Micheli

A

EMISSIONE

18/05/2018

Ing. A. Mangiola

Ing. E. Mittiga

Ing. A. Micheli

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>3</b>
<b>3. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>4</b>
<b>4. TABELLA MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
<b>5. ELEMENTI DI INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>8</b>
<b>6. INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>10</b>
— DESCRIZIONE DELLE INDAGINI E DELLE METODOLOGIE ESECUTIVE.....	10
— SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO .....	21
— REGIME DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI.....	22
<b>7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>27</b>
— INQUADRAMENTO GENERALE.....	27
— CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DA PROVE IN SITU .....	30
➤ <i>Densità Relativa .....</i>	<i>30</i>
➤ <i>Deformabilità .....</i>	<i>31</i>
➤ <i>Permeabilità.....</i>	<i>32</i>
➤ <i>Resistenza al taglio .....</i>	<i>33</i>
— CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DA PROVE DI LABORATORIO .....	46
➤ <i>Identificazione e Classificazione .....</i>	<i>46</i>
➤ <i>Deformabilità e resistenza al Taglio .....</i>	<i>58</i>
➤ <i>Consolidazione Edometrica .....</i>	<i>66</i>
<b>8. MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO.....</b>	<b>70</b>
<b>9. SISMICITA' .....</b>	<b>71</b>
<b>10. CONCLUSIONI.....</b>	<b>72</b>

## 1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo del Collegamento tra l'A4 (Torino-Milano) in località Santhià, Biella, Gattinara e l'A26 (Genova Voltri-Gravellona) in località Ghemme - Lotto 1.

La Rev. B della presente relazione è stata redatta per tener conto delle Indagini Integrative per il Viadotto Sesia, eseguite nell'autunno 2018, successivamente all'emissione della Rev. A del Maggio 2018. In seguito all'addendum della campagna geognostica, non si hanno sostanziali variazioni.

L'area di intervento è ubicata in un quadrante nevralgico per lo sviluppo regionale piemontese, tanto è che l'opera, già programmata dalla Legge Obiettivo, costituisce, nel contesto nazionale, il ramo occidentale della Pedemontana veneto-lombarda-piemontese.

Il tracciato della Pedemontana piemontese, della lunghezza di circa 40 km, nel primo tratto si sviluppa dall'autostrada A4 Torino-Milano verso nord, in direzione di Biella, attraversando i comuni di Cavaglià, Dorzano, Salussola, Massazza, Verrone, Benna, Candelo e Valdengo, e nel secondo tratto piega verso est, sfruttando un tratto della S.R. 142, della quale è previsto l'adeguamento, e infine, attraversando i Comuni di Cossato, Lessona, Masserano, Brusnengo, Roasio, Lozzolo e Gattinara, raggiunge il Comune di Ghemme, dove si collega alla A26 Voltri-Arona.

Il progetto dell'intervento, che prevede di conservare il tracciato già individuato in fase preliminare, verrà realizzato con una piattaforma stradale di categoria B1 "extraurbana principale" (ai sensi del D.M. 2001) con due corsie per senso di marcia da 3,75 m e banchine laterali da 1,75 m, per una larghezza complessiva pari a 22,00 m. Rispetto al progetto preliminare della Pedemontana Piemontese sono stati stralciati alcuni cavalcavia e sottopassi a servizio della viabilità secondaria interferita. Tale stralcio non condiziona la fluidità della viabilità al contorno all'opera, in quanto permangono altre opere di scavalco dell'asse in progetto in prossimità di strade provinciali di maggiore importanza.

Il lotto del presente progetto riguarda il tratto di circa 15 km che va dallo Svincolo di Masserano fino allo Svincolo con l'autostrada A26 nei pressi di Ghemme.

Per l'inquadramento complessivo del sito fondale in oggetto sono stati presi in considerazione anche i seguenti elaborati:

- Relazione Sismica e Planimetria con classificazione sismica del territorio
- Elaborati di Geologia: relazioni, carte tematiche e certificati indagini geognostiche.

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

Ordinanza n. 3274 del 20/03/03 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";

D.M. del 14/09/05 "Norme tecniche per le costruzioni";

Ordinanza n. 3519 del 29/04/06 della Presidenza del Consiglio dei Ministri, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e

D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";

Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni";

D.M. 11/03/88 – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

D.P.R. 5 ottobre 2010, n. 207 "Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE»";

D. Lgs. n. 163 del 12 aprile 2006: "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE".

Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";

Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI;

Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI;

Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI;

Eurocodice 8 (1998): Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture.

### 3. BIBLIOGRAFIA

Nella tabella successiva, sono riportati i principali testi consultati per la redazione della presente relazione.

<i>Autore</i>	<i>Titolo</i>	<i>Editore</i>	<i>Anno</i>
AA. VV.	Ingegneria Antisismica.	Liguori	1985
AA. VV.	Il modello geotecnico del sottosuolo nella progettazione delle opere di sostegno e degli scavi.	Hevelius	1997
Aicap	Dettagli costruttivi di strutture in calcestruzzo armato.	Pubblicamento	2011
Aicap	Commentario alle norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008 - Costruzioni in Calcestruzzo, Costruzioni composte in acciaio-calcestruzzo.	Pubblicamento	2011
Aicap - AGI	Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni	AGI	2012
Annunziata F. et al.	Progettazione Stradale Integrata.	Zanichelli	2004
Associazione Geotecnica Italiana	Aspetti geotecnici della Progettazione in zona sismica.	Patron Editore	2005
Belluzzi O.	Scienza delle Costruzioni.	Zanichelli	1941
Boscolo Bielo M.	Progettazione Strutturale.	Legislazione Tecnica	2010
Bowles E. B.	Fondazioni - progetto e analisi.	McGraw-Hill	1998
Bruschi A.	Meccanica delle Rocce.	Flaccovio	2004
Capurso M.	Introduzione al calcolo automatico delle strutture.	ESAC	1986
Clayton C.R.I., Milititsky J. e Woods R.I.	La spinta delle terre e le opere di sostegno.	Hevelius	1993
Collotta T.	Prontuario Interattivo di Geotecnica.	Flaccovio	1951
Desideri A., Miliziano S. e Rampello S.	Drenaggi a gravità per la stabilizzazione dei pendii.	Hevelius	1997
Di Francesco R.	Geotecnica - guida pratica alle nuove norme tecniche.	Flaccovio	2010
Ferrari P. e Giannini F.	Ingegneria Stradale.	ISED	1979
Garbin F. e Storoni Ridolfi S.	Geologia e geotecnica stradale.	Flaccovio	2010
Ghersì A.	Il cemento armato.	Flaccovio	2010
Giangreco E.	Teoria e tecnica delle costruzioni.	Liguori	1963
Lai C. G., Foti S. e Rota M.	Input Sismico e Stabilità Geotecnica dei Siti di Costruzione.	IUSS Press	2009
Lancellotta R.	Meccanica dei Terreni e Fondazioni - Resistenza al taglio e deformabilità.	Levrotto e Bella	1983
Lancellotta R.	Geotecnica.	Zanichelli	1987
Lancellotta R. e Cavallera J.	Fondazioni.	McGraw-Hill	1999
Leonhardt F.	Calcestruzzo armato e calcestruzzo armato precompresso.	ETS	1977
Mancina M., Nori R. e Iasiello P.	Progetti e calcoli di geotecnica con excel - Vol. I e II.	DEI	2006
Nori - Di Marcantorio	Manuale Pratico di Risposta Sismica Locale	EPC	2014
Pane V. e Tamagnini C.	Analisi dei diaframmi multiancorati.	Hevelius	2004
Pasqualini E.	Standard Penetration Test SPT	Atti delle C.G. di Torino, XI ciclo	1983
Perretti A., Ghersi A., Sattamino P. e Brenna	La validazione del calcolo strutturale eseguito con il computer.	Maggioli Editore	2007

<i>A.</i>			
<i>Poulos H.G. and Davis E. H.</i>	Analisi e Progettazione di fondazioni su pali.	<i>Flaccovio</i>	2002
<i>Tamagnini C.</i>	Analisi limite in ingegneria geotecnica.	<i>Hevelius</i>	2005
<i>Tanzini M.</i>	Micropali e pali di piccolo diametro.	<i>Flaccovio</i>	2004
<i>Tanzini M.</i>	L'indagine geotecnica.	<i>Flaccovio</i>	2002
<i>Tesoriere G.</i>	Strade, Ferrovie e Aeroporti.	<i>UTET</i>	1996
<i>Viggiani C.</i>	Fondazioni.	<i>Hevelius</i>	1999
<i>William Lambe T. e Whitman V.</i>	Meccanica dei Terreni.	<i>Flaccovio</i>	1997

#### 4. TABELLA MATERIALI

a. Calcestruzzo Magro: Classe 12/15

b. Calcestruzzo per Muri di Sostegno: Classe 28/35

-Resistenza caratteristica a compressione:	$R_{ck} > 35 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza cilindrica caratteristica:	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 29,05 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza a compressione di calcolo:	$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 16,46 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza media a trazione semplice assiale:	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,83 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza caratteristica a trazione:	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,98 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza di calcolo a trazione:	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1,5} = 1,32 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza:	$f_{bk} = 2,25 \cdot f_{ctk} = 4,46 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo:	$f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1,5} = 2,97 \frac{N}{mm^2}$

c. Calcestruzzo per pali di grande diametro: Classe 25/30

-Resistenza caratteristica a compressione:	$R_{ck} > 30 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza cilindrica caratteristica:	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 24,9 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza a compressione di calcolo:	$f_{cd} = 0,85 \cdot \frac{f_{ck}}{1,5} = 14,11 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza media a trazione semplice assiale:	$f_{ctm} = 0,30 \cdot f_{ck}^{2/3} = 2,558 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza caratteristica a trazione:	$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 1,79 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza di calcolo a trazione:	$f_{ctd} = \frac{f_{ctk}}{1,5} = 1,19 \frac{N}{mm^2}$
-Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza:	$f_{bk} = 2,25 \cdot f_{ctk} = 4,03 \frac{N}{mm^2}$

-Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo:  $f_{bd} = \frac{f_{bk}}{1,5} = 2.69 \frac{N}{mm^2}$

d. Acciaio per armatura per Pali di Fondazione e Muri: B450C – ad aderenza migliorata controllato in stabilimento

-Tensione caratteristica di rottura:  $f_{tk} \geq 540 \frac{N}{mm^2}$

-Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} \geq 450 \frac{N}{mm^2}$

-Tensione di snervamento di calcolo:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = 391 \frac{N}{mm^2}$

e. Palancole

- Acciaio Ordinario S275

f. Ture Provvisoriale in Alveo

- Materiale limo – argilloso tipo A6 con sabbia in percentuale non inferiore al 15%

- Materiale di grossa pezzatura

## 5. ELEMENTI DI INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area interessata dal tracciato in progetto ricade, partendo da E verso W, nei Comuni di Romagnano Sesia (VC), Ghemme (NO), Gattinara (VC), Lozzolo (VC), Roasio (BI), Brusnengo (BI) e Masserano (BI), consentendo la transizione tra le provincie di Vercelli, Novara e Biella. Il tracciato in progetto risulta così confinante dal settore collinare dell'asse Masserano – Gattinara (a Nord), dalla valle del torrente Ostola (ad Ovest), dal territorio agricolo (ad Sud) mentre con l'alveo inciso del Fiume Sesia (ad Est).

In profilo longitudinale si può osservare che il tracciato compie una curva ideale con concavità verso il basso: con il picco m 275 circa s.l.m., nel Comune di Roasio, mentre i valori minimi alle estremità iniziali e finali di m 228,0 circa s.l.m., ubicate in prossimità delle incisioni vallive del torrente Ostola e del fiume Sesia.

Il territorio attraversato appare piuttosto omogeneo e caratterizzato da estese aree pianeggianti o poco acclivi localizzate unicamente lungo i fondovalle principali dei torrente Ostola, Marchiazza, Rovasenda e del fiume Sesia. L'ambiente caratteristico è quello della Baraggia con ampie superfici completamente boscate e coltivate, e rari i nuclei abitati o fabbricati isolati. Nonostante la regolarità del paesaggio, sono riconoscibili, lungo il tracciato tre livelli fondamentali del settore di pianura in esame, che sommariamente, possono essere così descritti:

- Livello superiore: costituito dalle superfici terrazzate interne ai depositi di origine fluvioglaciale del "Fluvioglaciale Riss" (Pleistocene Medio) ricoperti da un paleosuolo essenzialmente argilloso. Il terrazzo rissiano risulta in corrispondenza del tracciato in esame sopraelevato rispetto al fondovalle attuale del fiume Sesia di 20 - 25 m ed insiste sulla quasi totalità del tracciato in esame (75%);

- Livello intermedio: costituito dalle superfici terrazzate modellate all'interno dei depositi di origine fluvioglaciale del "Fluvioglaciale Wurm-Riss" (Pleistocene Sup. - Pleistocene Medio) appartenenti al livello fondamentale della pianura, che si sviluppano sia in sinistra che in destra orografica del fiume Sesia. Tale livello è caratteristico del settore più orientale del tracciato (svincolo di Ghemme incluso);

- Livello inferiore: costituito dalla piana del fiume Sesia, formata dalle fasce di alluvioni recenti ed antiche a contorno del corso d'acqua su ambedue le sponde, più estesa in destra orografica. Tale livello è caratteristico del settore più orientale del tracciato (svincolo di Ghemme incluso).

Il modello evolutivo del tratto di pianura è significativamente influenzato dall'assetto idrografico dell'area, costituito da una fitta rete di canali di dimensioni medio piccole (ad esclusione del fiume Sesia). Il decorso dei canali naturali è prevalentemente orientato lungo la direzione N – S, mentre i canali irrigui mostrano andamento subparallelo e in alcuni casi trasversale al reticolo naturale.

Escluso il settore montano, la situazione generale relativa alla distribuzione superficiale dei complessi stratigrafici e delle unità strutturali può essere sommariamente descritta, da N verso S, come in seguito riportato:

Un settore collinare dove le unità affioranti alle quote di interesse delle opere sono per lo più:

- "Depositi pliocenici" (copertura pliocenica). Sedimenti marini e di transizione all'ambiente continentale in facies astiana (sabbie), piacentiana (silts sabbiosi) e fossaniana (sabbie ghiaiose), in forma di lembi, ridotti in estensione e potenza, addossati al piede dei rilievi collinari.
- "Depositi quaternari" (copertura quaternaria). Ghiaie ciottolose sabbiose, sabbie ghiaiose, limi sabbiosi la cui origine è legata alle fasi di alluvionamento da parte del reticolo idrografico attuale (depositi olocenici) e passato (depositi pleistocenici). Si distribuiscono lungo le fasce adiacenti i corsi d'acqua attuali (alluvioni oloceniche) o costituiscono, nelle porzioni di territorio più elevate, limitate superfici terrazzate (Pleistocene), isolate o che si raccordano con i depositi continentali della pianura.

Un settore di pianura dove le unità affioranti alle quote di interesse delle opere sono per lo più "Depositi quaternari", organizzati in un sistema terrazzi morfologici, disposti su quote diverse tra loro e in rapporto di parziale sovrapposizione, con contatto attraverso un meccanismo erosionale. Il substrato, non è affiorante, ed è costituito da sedimenti marini di età pliocenica.

L'area interessata dal progetto insiste sui depositi fluviali, fluvioglaciali e glaciali del quaternario, sia di età pleistocenica, che di età olocenica (alluvioni antiche, recenti ed attuali dei principali corsi d'acqua).

L'esame del contesto geologico di progetto è riportato negli elaborati di Geologia a cui si rimanda per ulteriori approfondimenti.

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

### — Descrizione delle indagini e delle metodologie esecutive

La campagna geognostica per l'esecuzione del Collegamento Viario Masserano Ghemme, è costituita da numerose campagne geognostiche, in particolare:

- 1** Anas (2017), eseguita per la redazione del progetto definitivo, che prevede:
  - 25 sondaggi a carotaggio continuo;
  - 8 piezometri;
  - 3 prove geofisiche superficiali a Rifrazione;
  - 15 prove geofisiche Down hole;
  - 58 Pozzetti esplorativi.
- 2** CAP (2009), eseguita per la redazione del progetto preliminare, che prevede:
  - 17 sondaggi a carotaggio continuo;
  - 14 piezometri;
  - 4 prove geofisiche superficiali MASW;
  - n. 2 prove geosismiche in foro Down-hole.
- 3.** CAP (2010), eseguita per la redazione del progetto preliminare, che prevede:
  - 14 sondaggi a carotaggio continuo;
  - 9 piezometri.
- 4.** ANAS (2018), eseguita durante l'iter di approvazione del Progetto Definitivo
  - 4 sondaggi a carotaggio continuo;
  - n. 1 prove geofisica in foro Down-hole.

Le ubicazioni cartografiche, le stratigrafie nonché le foto dei sondaggi suddetti, risultati delle prove in sito ed i certificati di laboratorio geotecnico sono allegati negli elaborati "Documentazione sulle Indagini Geognostiche".

In Tabella 1 in, Tabella 2 sono riportati i dati delle indagini relativi alle campagne CAP rispettivamente (2009) e (2010).

In Tabella 3 sono riportati i dati sulle diverse verticali di indagine della campagna Anas (2017): numero e tipologia di campioni prelevati, prove STP o prove sismiche (Down Hole o a Rifrazione) eseguite.

In Tabella 4 invece, per ciascun campione prelevato –nella campagna Anas 2017– sono elencati: caratteristiche fisiche, proprietà indice e grandezze di stato, distribuzione granulometrica.

In Tabella 5 ed in Figura 1, sono rappresentate le coordinate dei punti di sondaggio nell'alveo del Fiume Sesia, per la progettazione dell'omonimo viadotto, (Campagna ANAS 2018).

Sondaggio	Località	Coordinate	Quota terreno (m s.l.m.)	Profondità da p.c. (m)
S1	Santhià	X = 1433041,253 Y = 5026634,438	206.00	20
S2	Santhià	X = 1432651,489 Y = 5028769,644	220.50	10
S3	Brianco	X = 1433029,367 Y = 5029774,740	222.50	20
S4	FF.SS	X = 1432493,937 Y = 5031140,734	235.00	20
S5	Arro	X = 1433010,175 Y = 5031781,746	208.00	40
S6	Vigellio	X = 1431577913 Y = 5034216,127	230.00	20
S7	Verrone	X = 1431768,544 Y = 5038276,264	362.50	20
S8	Cossato	X = 1432309,582 Y = 5040558,352	253.50	20
S9	Valdengo	X = 1432850,515 Y = 5044434,058	268.00	40
S10	Cerreto Castello	X = 1434518,413 Y = 5044731,946	249.00	20
S11	Cossato	X = 1437489,710 Y = 5044708,977	228.00	30
S12	Masserano	X = 1440846,073 Y = 5044798,964	240.50	20
S13	S.P. Brusnengo- Rovasenda	X = 1443328,914 Y = 5046189,608	247.00	20
S14	S.P. Gattinara- Rovasenda	X = 1448853,674 Y = 5048527,038	266.00	30
S15	Gattinara	X = 1451521,064 Y = 5048909,103	245.00	20
S16	Gattinara	X = 1451995,29 Y = 5048759,468	237.00	40
S17	Ghemme	X = 1453525,552 Y = 5048968,25	238.50	40

Tabella 1: campagna geognostica CAP (2009)

Sondaggio	Profondità (m)	Campioni indisturbati	Campioni rimaneggiati	SPT	Prove di permeabilità	Piezometro
S2/2010	20	0	0	5	1	Norton
S3/2010	25	1	0	5	2	Norton
S4/2010	20	0	0	4	2	
S5/2010	20	1	1	5	2	
S6/2010	20	1	1	6	2	Norton
S6bis/2010	15	0	0	0	0	
S7/2010	30	0	2	6	2	Norton
S8/2010	30	0	4	7	2	Norton
S9/2010	20	1	1	5	2	
S10/2010	30	0	2	6	2	Norton
S11/2010	20	0	0	5	1	
S12/2010	20	0	0	4	1	Norton
S13/2010	25	2	4	5	2	Norton
S14/2010	20	1	2	4	2	Norton

Tabella 2: campagna geognostica CAP (2010)

Sigla	Sondaggi a c.c.							Prove DH		Prove sismiche a rifrazione		Pozzetti geognostici			
	n	ml.	d.n.	SPT	Prelievo c. ind.	Prelievo c. rim.	Piezom.	n	ml.	n	ml.	n	ml.	Prelievo c.rim.	Prova su piastra
Pz1_D												1	2	1	1
Pz2_D												1	2	1	1
Pz3_D												1	2	1	1
S1dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz4_D												1	2	1	1
Pz5_D												1	2	1	
Pz6_D												1	2	1	1
Pz7_D												1	2	1	
Pz8_D												1	2	1	1
Pz9_D												1	2	1	1
Pz10_D												1	2	1	
S2dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
S3pz_D	1	30		5	4	3	30								
Pz11_D												1	2	1	1
Pz12_D												1	2	1	

Sigla	Sondaggi a c.c.						Prove DH		Prove sismiche a rifrazione		Pozzetti geognostici				
	n	ml.	d.n.	SPT	Prelievo c. ind.	Prelievo c. rim.	Piezom.	n	ml.	n	ml.	n	ml.	Prelievo c.rim.	Prova su piastra
Pz13_D												1	2	1	1
Pz14_D												1	2	1	
S4dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz15_D												1	2	1	1
Pz16_D												1	2	1	1
S5pz_D	1	30		5	4	3	30								
S6dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz17_D												1	2	1	
Pz18_D												1	2	1	
Pz19_D												1	2	1	1
Pz20_D												1	2	1	
Pz21_D												1	2	1	
Pz22_D												1	2	1	
Pz23_D												1	2	1	1
Pz24_D												1	2	1	
Pz25_D												1	2	1	
S7pz_D	1	30		5	4	3	30								
S8dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz26_D												1	2	1	1
Pz27_D												1	2	1	
S9dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz28_D												1	2	1	1
Pz29_D												1	2	1	
S10pz_D	1	30		5	4	3	30								
S11dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz30_D												1	2	1	1
Pz31_D												1	2	1	
Pz32_D												1	2	1	
Pz33_D												1	2	1	1
Pz34_D												1	2	1	

Sigla	Sondaggi a c.c.						Prove DH		Prove sismiche a rifrazione		Pozzetti geognostici				
	n	ml.	d.n.	SPT	Prelievo c. ind.	Prelievo c. rim.	Piezom.	n	ml.	n	ml.	n	ml.	Prelievo c.rim.	Prova su piastra
Pz35_D												1	2	1	
S12dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz36_D												1	2	1	1
Pz37_D												1	2	1	1
S13dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
S14pz_D	1	25		5	4	3	25								
Pz38_D												1	2	1	
S15pz_D	1	20		4	3	2	20								
Pz39_D												1	2	1	1
Pz40_D												1	2	1	1
S16dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
Pz41_D												1	2	1	
Pz42_D												1	2	1	
Pz43_D												1	2	1	1
Pz44_D												1	2	1	1
Pz45_D												1	2	1	
S17dh_D	1	35		5	4	3		1	35						
S18pz_D	1	25		5	4	3	25								
Pz46_D												1	2	1	1
Pz47_D												1	2	1	
Pz48_D												1	2	1	
Pz49_D												1	2	1	1
Pz50_D												1	2	1	1
Pz51_D												1	2	1	1
Pz52_D												1	2	1	
Pz53_D												1	2	1	1
S19dh_D	1	40		6	5	4		1	40						
BS1_D										1	200				
BS2_D										1	200				
S20_D	1	35		4	3	2									

Sigla	Sondaggi a c.c.						Prove DH		Prove sismiche a rifrazione		Pozzetti geognostici				
	n	ml.	d.n.	SPT	Prelievo c. ind.	Prelievo c. rim.	Piezom.	n	ml.	n	ml.	n	ml.	Prelievo c.rim.	Prova su piastra
BS3_D									1	200					
S21_D	1	40		6	5	4									
S22dh_D	1	40		6	5	4	1	40							
Pz54_D												1	2	1	1
Pz55_D												1	2	1	
S23dh_D	1	35		5	4	3	1	35							
Pz56_D												1	2	1	1
Pz57_D												1	2	1	
S24pz_D	1	30		5	4	3	30								
S25dh_D	1	35		5	4	3		35							
Pz58_D												1	2	1	1

Tabella 3: indagini geognostiche campagna ANAS 2017

Sondaggio	campione	prof. media	Caratteristiche fisiche				Proprietà Indice		Grandezze di Stato		Analisi Granulometrica			
			$\gamma$	$\gamma_s$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	e	n	Sr	w	ghiaia	sabbia	limo	argilla
		(m)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
S1 DH	S1 DH C1	4,25	19,29	25,92	16,16	19,85	0,60	37,65	84,60	19,33	2	36	50	12
	S1 DH C2	12,80	18,74	25,99	16,56	20,12	0,57	36,26	61,08	13,11	0	81	18	1
	S1 DH C3	18,20	18,83	25,87	16,46	20,03	0,57	36,39	66,42	14,40	1	74	24	1
	S1 DH C4	25,45	18,96	25,94	15,41	19,39	0,68	40,58	89,05	22,99	0	83	13	4
S2 DH	S2 DH C1	3,25	19,15	26,10	16,09	19,85	0,62	38,35	81,36	19,02	3	61	31	5
	S2 DH C2	13,25	18,00	25,76	16,17	19,82	0,59	37,23	50,10	11,31	3	87	9	1
	S2 DH C3	18,25	18,22	25,83	15,44	19,38	0,67	40,23	70,46	18,01	11	75	12	2
	S2 DH C4	24,25	18,07	25,92	15,25	19,29	0,70	41,16	69,77	18,46	10	63	22	5
	S2 DH C5	30,25	18,37	26,43	15,01	19,25	0,76	43,21	79,27	22,38	2	75	20	3
S3 PZ	S3 PZ C1	15,30	17,22	26,40	15,09	19,29	0,75	42,86	50,82	14,16	0	66	29	5
	S3 PZ C2	20,15	19,04	26,22	16,54	20,16	0,59	36,92	69,08	15,12	3	67	25	5
	S3 PZ C3	24,20	19,27	26,27	16,13	19,91	0,63	38,62	82,95	19,48	0	75	21	4
	S3 PZ C4	28,75	19,45	25,76	16,74	20,18	0,54	35,01	78,75	16,15	0	73	23	4
S4 DH	S4 DH C1	2,25	19,37	25,52	17,07	20,32	0,50	33,12	70,79	13,47	25	45	20	10
	S4 DH C2	13,35	19,15	26,03	16,53	20,11	0,57	36,50	73,10	15,83	1	60	32	7
	S4 DH C3	18,40	19,45	26,12	16,64	20,20	0,57	36,31	79,12	16,94	1	60	33	6
	S4 DH C4	24,25	19,63	26,12	16,84	20,32	0,55	35,53	80,20	16,60	12	59	24	5
	S4 DH C5	27,20	19,63	26,12	16,84	20,32	0,55	35,53	80,20	16,60	1	72	24	3
S7 PZ	S7 PZ C1	11,20	19,46	26,22	15,61	19,58	0,68	40,46	96,87	24,62	0	62	33	5
	S7 PZ C2	17,55	19,91	26,41	16,19	19,99	0,63	38,70	98,03	22,97	0	37	52	11
	S7 PZ C3	23,25	19,46	26,22	15,61	19,58	0,68	40,46	96,87	24,62	0	86	11	3

Sondaggio	campione	prof. media	Caratteristiche fisiche				Proprietà Indice		Grandezze di Stato		Analisi Granulometrica			
			$\gamma$	$\gamma_s$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	e	n	Sr	w	ghiaia	sabbia	limo	argilla
S7 PZ	C14	28,20	19,13	26,22	15,40	19,45	0,70	41,27	92,07	24,20	7	59	31	3
	C15	30,20	19,71	26,18	16,92	20,39	0,55	35,35	80,26	16,44	0	70	26	4
	C16	32,55	19,76	26,27	16,74	20,30	0,57	36,27	84,83	18,02	2	83	15	0
S8 DH	C11	3,80	18,43	26,20	15,02	19,21	0,74	42,66	81,47	22,68	3	19	61	17
	C12	15,25	18,71	26,22	14,39	18,81	0,82	45,14	97,59	30,03	0	8	77	15
	C13	20,75	19,21	26,29	15,54	19,55	0,69	40,90	91,49	23,61	0	89	11	0
	C14	28,70	19,09	26,37	14,99	19,22	0,76	43,16	96,88	27,36	1	73	25	1
S13 DH	C11	17,15	19,29	26,30	15,64	19,61	0,68	40,52	91,84	23,33	11	44	39	6
	C12	20,20	18,94	26,24	15,70	19,64	0,67	40,18	82,37	20,68	0	52	40	8
	C13	26,70	19,06	26,16	15,21	19,31	0,72	41,88	93,81	25,33	9	37	49	5
	C14	33,20	19,77	26,19	16,03	19,84	0,63	38,79	98,26	23,31	0	46	48	6
S5 PZ	C11	2,25	19,43	25,74	16,19	19,83	0,59	37,11	89,12	20,04	1	26	60	13
	C12	17,20	19,49	25,04	17,09	20,20	0,47	31,78	77,27	14,09	2	62	33	3
	C13	23,25	19,05	25,81	16,19	19,85	0,59	37,25	78,29	17,66	0	68	28	4
	C14	27,75	18,55	25,91	15,74	19,59	0,65	39,27	72,92	17,85	13	61	24	2
S6 DH	C11	2,25	19,19	25,60	15,58	19,42	0,64	39,13	94,17	23,19	0	44	48	8
	C12	14,25	20,13	25,94	17,32	20,58	0,50	33,21	86,07	16,18	10	53	31	6
	C13	19,25	18,50	26,12	14,84	19,08	0,76	43,19	86,38	24,65	0	83	16	1
	C14	27,25	19,35	26,19	16,60	20,19	0,58	36,63	76,55	16,57	0	74	22	4
	C15	32,75	18,32	26,28	14,39	18,83	0,83	45,25	88,48	27,28	0	78	19	3
S9 DH	C11	2,20	18,55	25,00	15,42	19,18	0,62	38,33	83,29	20,30	6	67	22	5
	C12	12,20	19,58	26,08	16,51	20,11	0,58	36,72	85,32	18,62	1	58	34	7
	C13	17,20	19,33	25,91	16,47	20,04	0,57	36,46	80,27	17,43	0	59	35	6
	C14	23,25	20,45	26,27	17,27	20,63	0,52	34,28	94,79	18,46	2	65	27	6

Sondaggio	campione	prof. media	Caratteristiche fisiche				Proprietà Indice		Grandezze di Stato		Analisi Granulometrica			
			$\gamma$	$\gamma_s$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	e	n	Sr	w	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	S9DH C15	28,25	19,92	26,35	17,19	20,60	0,53	34,75	79,95	15,85	0	65	30	5
	S9DH C16	33,20	18,67	26,27	15,03	19,22	0,75	42,79	86,84	24,25	1	46	47	6
S10 PZ	S10PZ C11	13,90	19,58	26,05	16,07	19,83	0,62	38,29	93,34	21,80	0	67	27	6
	S10PZ C12	18,20	18,09	26,05	13,47	18,20	0,93	48,31	97,59	34,33	0	19	72	9
	S10PZ C13	21,20	18,77	26,03	14,72	18,98	0,77	43,43	95,03	27,49	1	59	35	5
	S10PZ C14	26,40	20,56	25,64	17,90	20,86	0,43	30,20	89,74	14,85	1	56	36	7
	S11DH C1	1,80	16,91	25,93	12,67	17,68	1,05	51,14	84,61	33,50	0	32	45	23
S11 DH	S11DH C12	11,25	20,15	26,15	17,42	20,69	0,50	33,39	83,20	15,64	0	62	30	8
	S11DH C13	15,75	19,46	26,30	16,27	20,01	0,62	38,12	85,21	19,58	0	66	29	5
	S11DH C14	22,75	20,10	26,04	16,76	20,26	0,55	35,62	95,39	19,88	0	74	23	3
	S11DH C15	26,75	19,25	26,29	17,10	20,53	0,54	34,98	62,84	12,61	5	50	39	6
S14PZ	S14PZ C1	2,00	18,90	26,09	15,09	19,23	0,73	42,14	92,11	25,22	2	4	71	23
	S14PZ C12	18,65	18,61	25,90	15,29	19,31	0,69	40,96	82,54	21,68	9	35	46	10
	S14PZ C13	23,60	18,79	26,01	14,90	19,09	0,75	42,71	92,79	26,07	9	39	42	10
S15PZ	S15PZ C1	2,65	15,99	26,14	12,39	17,55	1,11	52,61	69,87	29,10	0	43	46	11
	S15PZ C12	14,55	17,39	25,84	12,52	17,57	1,06	51,54	96,43	38,93	0	2	74	24
	S15PZ C13	18,40	19,23	26,01	15,43	19,42	0,69	40,68	95,17	24,60	0	31	51	18
S16PZ	S16DH C1	3,75	20,04	25,88	17,32	20,56	0,49	33,07	83,92	15,71	0	20	49	31
	S16 DH C12	10,20	19,62	26,42	15,72	19,69	0,68	40,49	98,20	24,80	1	42	40	17
	S16 DH C13	32,60	19,55	26,12	16,01	19,81	0,63	38,70	93,25	22,10	3	52	30	15
S12 DH	S12 DH C1	2,75	16,92	24,98	12,80	17,58	0,95	48,77	86,10	32,17	2	44	38	16
	S12 DH C2	13,25	19,52	26,40	16,22	20,00	0,63	38,58	87,42	20,39	0	54	31	15
	S12 DH C3	18,25	19,36	26,46	15,94	19,84	0,66	39,77	87,91	21,51	3	64	28	5
	S12 DH C4	23,75	20,16	26,51	17,07	20,56	0,55	35,61	88,53	18,12	0	56	29	15

Sondaggio	campione	prof. media	Caratteristiche fisiche				Proprietà Indice		Grandezze di Stato		Analisi Granulometrica			
			$\gamma$	$\gamma_s$	$\gamma_d$	$\gamma_{sat}$	e	n	Sr	w	ghiaia	sabbia	limo	argilla
	S12 DH C5	28,75	18,76	26,58	14,79	19,14	0,80	44,36	91,24	26,83	1	35	48	16
S21	S21 CI1	15,20	18,26	26,40	14,49	18,91	0,82	45,12	85,32	26,06	3	51	32	14
	S21 CI2	24,45	18,94	26,01	15,29	19,33	0,70	41,23	90,38	23,91	22	46	20	12
	S21 CI3	29,40	19,78	25,79	16,42	19,99	0,57	36,32	94,30	20,45	19	43	25	13
	S22 DH CR1	18,60	19,21	26,33	15,53	19,56	0,70	41,00	91,38	23,65	14	42	34	10
S22 DH	S22 DH C11	22,80	19,03	26,41	15,10	19,30	0,75	42,82	93,50	26,00	1	57	28	14
	S22 DH C12	30,45	19,88	26,40	16,27	20,03	0,62	38,39	95,97	22,21	14	36	38	12
	S22 DH CR2	39,70	20,33	26,49	16,90	20,45	0,57	36,19	96,77	20,32	20	26	35	19
	S23 CI1	20,80	18,68	26,31	15,95	19,81	0,65	39,36	70,60	17,08	11	49	26	14
S23	S23 CI2	28,75	18,07	26,14	13,41	18,19	0,95	48,67	97,56	34,71	0	9	66	25
	S23 CI3	31,80	18,86	26,36	14,91	19,17	0,77	43,44	92,72	26,49	0	65	25	10
	S24 PZ	S24 PZ C1	25,20	19,25	26,18	16,34	20,02	0,60	37,60	79,07	17,84	1	60	27
S25 DH	S25 DH C1	22,20	19,68	26,26	16,00	19,83	0,64	39,08	96,13	23,02	1	61	25	13
S17 DH	S17 DH C11	11,80	19,12	25,22	15,46	19,25	0,63	38,72	96,53	23,72	1	28	55	16
	S17 DH C12	27,80	18,80	25,44	15,34	19,23	0,66	39,71	88,75	22,53	0	66	25	9
	S17 DH CR1	12,75	19,35	26,30	15,58	19,58	0,69	40,79	94,37	24,23	0	72	20	8
	S17 DH CR2	14,75	19,27	26,08	15,41	19,42	0,69	40,90	96,21	25,04	0	60	24	16
	S17 DH CR3	17,75	19,54	26,51	15,53	19,59	0,71	41,40	98,71	25,80	1	56	32	11
S18 PZ	S18 PZ C11	17,85	19,17	26,12	15,49	19,48	0,69	40,68	92,11	23,72	21	45	23	11
	S18 PZ CR1	12,80	19,36	26,25	15,68	19,63	0,67	40,25	93,17	23,45	16	49	23	12
	S18 PZ CR2	20,25	19,12	26,13	15,63	19,57	0,67	40,18	88,69	22,36	20	44	26	10
S19 DH	S19 DH C11	14,80	18,60	26,57	14,28	18,81	0,86	46,28	95,30	30,30	0	7	72	21
	S19 DH C12	22,80	19,25	26,02	15,76	19,63	0,65	39,44	90,24	22,15	17	37	35	11
	S19 DH C13	26,20	18,06	26,10	13,38	18,16	0,95	48,72	97,88	34,94	0	8	74	18

Tabella 4: Caratteristiche fisiche dei campioni analizzati nella campagna Anas 2017

Nome Sondaggio	Coordinata N	Coordinata E	Quota (m slm)
Si1 - DH	45° 35' 32.4363	8° 23' 14.4264	239.39
Si2	45° 35' 33.6207	8° 23' 31.7316	236.77
Si3	45° 35' 35.1674	8° 23' 31.1141	236.96
Si4	45° 35' 32.5389	8° 23' 38.4250	235.81

Tabella 5: Ubicazione dei Sondaggi della Campagna ANAS 2018

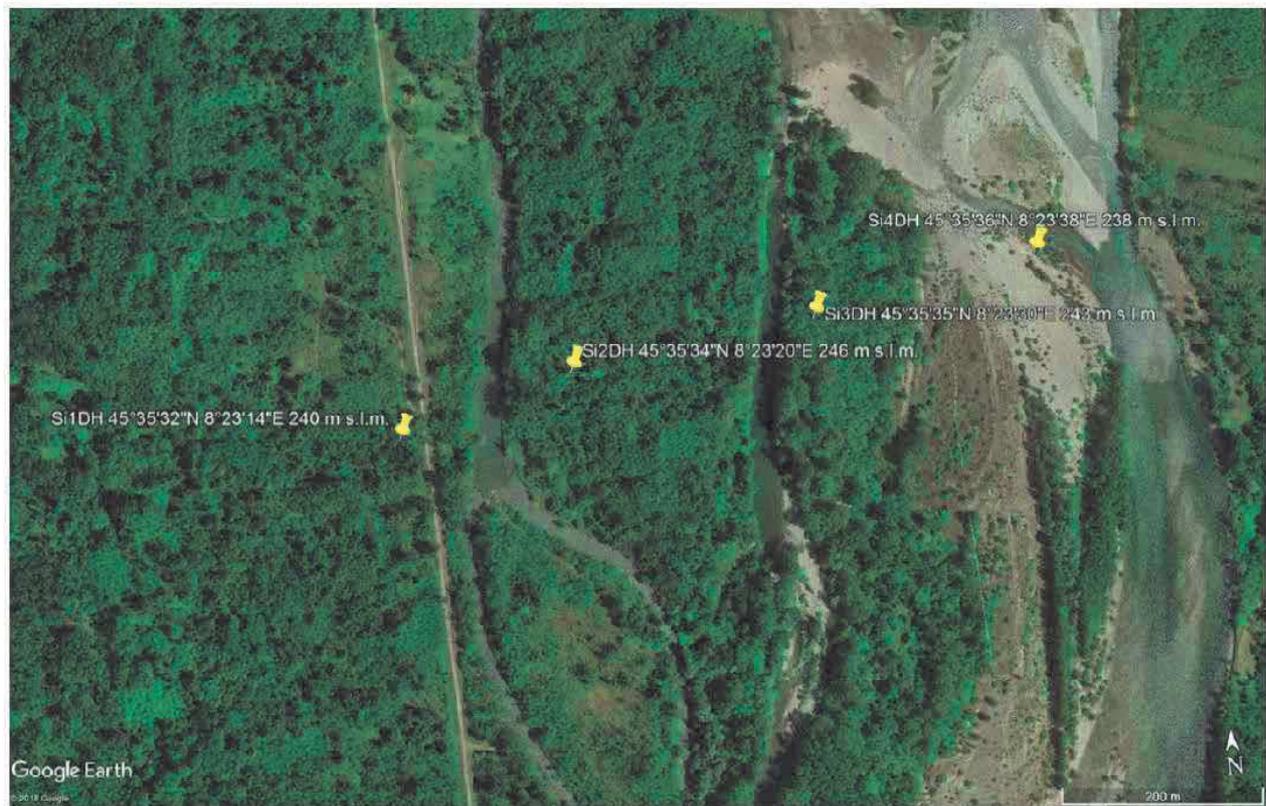


Figura 1: Individuazione dei sondaggi nell'area di alveo del fiume Sesia  
(Campagna ANAS 2018 - fanno fede coordinate e quote riportate in Tabella 5).

## — Sondaggi a carotaggio continuo

Le stratigrafie dei sondaggi eseguiti rivelano la presenza di materiali sciolti riconducibili all'evoluzione geologica della fascia interessata dal tracciato stradale in oggetto. Considerando tutti i sondaggi, eseguiti in prossimità dell'asse stradale, riportati sull'elaborato Profilo Geotecnico, si può considerare il seguente modello:

- uno strato a piano campagna di limi, esteso da pk 25+488 a pk 36+988: che fino a pk 31+563 è limo sabbioso (eccetto un tratto nell'intorno del sondaggio S9/2010 alla pk 29+965 in cui si osserva limo argilloso) e poi limo argilloso. Lo spessore di tale strato è entro i 4-6 m, con casi anche di 8 m (S12/2010); lo strato si esaurisce, con l'avvicinamento al fiume Sesia, per far posto ad uno strato di sabbia da medio fine a fine, da limosa a debolmente limosa, colore marrone brunastro, con clasti di spessore contenuti entro i 6 m;
- uno strato di ghiaia con ciottoli in abbondante matrice sabbiosa / sabbioso – limosa da pk 26+687 a pk (sondaggio S3 Dh/2017) fino a pk 36+869 (sondaggio S17\_Dh/2017), posto a diretto contatto con i limi. Lo spessore può variare tra 10 e 20 m, con casi anche superiori dell'ordine di 25-30 m. Alla pk 36+869 (Sondaggio S17\_Dh/2017), si osserva uno strato costituito da livelli sabbioso-limosi e sabbioso-ghiaiosi, che si interpone tra la ghiaia ed i limi. Tale strato prosegue fino alla pk 38+313 in cui le ghiaie terminano la loro presenza, nell'area che sottende il tracciato;
- uno strato di sabbia da medio fine a fine, da limosa a debolmente limosa, colore marrone brunastro, con clasti, che si estende per tutto il tracciato, e caratterizza lo strato di fondo di ogni sondaggio. Nella fase iniziale del tracciato alla pk 25+594 (sondaggio S12/2009), questa affiora a 20 m di profondità; successivamente affiora a 30 m di profondità fino al sondaggio S12Dh/2017 alla pk 32+213 (in cui risale a 20 m). Infine, si incontra è un tratto in cui il tetto dello strato varia da 20 e 30 m, per risalire fino a 14 m in alveo a fiume Sesia Sondaggio S20 Dh\_D (pk 39+213).

I tre gruppi stratigrafici omogenei suddetti, presenti su tutto il tracciato, con potenze variabili, sono intercalati da altre tipologie geotecniche, presenti solo in tratti ben delimitati:

- uno strato costituito dall'alternanza di livelli sabbioso limosi di colore marroncino e livelli ghiaioso sabbiosi con materiale a tratti molto alterato di colore scuro misto a sabbie da medio fini a fini; questo strato è presente della parte iniziale del tracciato: sondaggi S12/2009 e S2\_DH/2017 (pk 25+594 e pk 26+321) con spessori di 5 m, entro i 12 m di profondità. In corrispondenza dei sondaggi S5Pz/2017 e S6Pz/2017 (pk 28+463 e pk 28+738) è presente a 22 m di profondità con spessori da 1 a 5 m;
- uno strato di costituito dall'alternanza di livelli sabbioso limosi di colore marroncino e livelli ghiaioso sabbiosi con materiale a tratti molto alterato di colore scuro da pk 36+869 (Sondaggio S13/2010)

fino a pk 38+313 (Sondaggio S19/2017) con potenze da 8 a 18 m; altresì, in alveo al fiume Sesia, si ritrovano tali litotipi nei Sondaggi S21d/2017 e S22\_Dh/2017 rispettivamente da 10 e da 25 m di profondità fino a fine sondaggio;

- uno strato di ghiaia con ciottoli in scarsa matrice sabbiosa da pk 38+500 (sondaggio S15/2009) fino a fine tracciato (pk 40+117 - Sondaggio S22Dh\_D) con potenza tra i 4 ed i 12 m.

Quanto sopra esposto chiarisce la schematizzazione concettuale rappresentata graficamente nell'elaborato profilo geotecnico.

### — **Regime delle pressioni interstiziali**

Le indagini in situ eseguite hanno evidenziato la presenza di falda sotterranea.

Il regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo è stato ricostruito attraverso le letture dei piezometri (Norton/Casagrande) posti negli strati più permeabili.

In Tabella 6 e Tabella 7 sono riportate le misure piezometriche delle campagne CAP 2009 e CAP 2010 rispettivamente, assieme con gli esiti dei sondaggi in cui è stato rilevato il livello di falda, mentre in Tabella 8 sono riportati i dati della campagna ANAS 2017. In Tabella 9 sono rappresentati, infine, i livelli idrici rinvenuti in quest'ultima campagna geognostica, dei sondaggi non muniti di sonda piezometrica; di questi quelli attrezzati per prova Down-Hole (DH) sono rivestiti con tubo in pvc a tutta altezza, per cui il livello idrico si ottiene per risalita dell'acqua da fondo foro.

Il rilievo di falda nella campagna ANAS 2018, trattandosi di sondaggi in alveo fluviale, fa registrare una posizione della falda a quota – 1.50m da quota bocca foro.

Le differenze che, talvolta, si osservano tra le misure delle due campagne, in sondaggi limitrofi, potrebbero essere imputabili al diverso regime pluviometrico annuale tra l'anno 2009/2010 e l'anno 2017, periodo di particolare magra.

Il posizionamento della falda nelle stratigrafie di progetto è riportato negli elaborati di profilo geotecnico, nonché nelle relazioni geotecniche specifiche delle singole opere.

**CAMPAGNA AGOSTO - SETTEMBRE 2009**

Sondaggio	Piezometro Norton		Falda da p.c. (m)	Data
	Tratto cieco	Tratto fessurato		
S1	0.00 - 6.00 m	6.00 - 20.00 m	15.50	Agosto 2009
S3	0.00 - 3.00 m	3.00 - 18.00 m	Assente	Settembre 2009
S4	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	Assente	Settembre 2009
S5	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	4.10	Settembre 2009
S6	0.00 - 3.00 m	3.00 - 20.00 m	3.90	Agosto 2009
S7	0.00 - 3.00 m	3.00 - 20.00 m	13.20	Settembre 2009
S8	0.00 - 3.00 m	3.00 - 14.00 m	Falda in pressione	Agosto 2009
S9	0.00 - 3.00 m	3.00 - 21.00 m	3.70	Settembre 2009
S10	0.00 - 3.00 m	3.00 - 12.00 m	3.60	Agosto 2009
S11	0.00 - 3.00 m	3.00 - 24.00 m	3.50	Agosto 2009
S13	0.00 - 3.00 m	3.00 - 20.00 m	13.50	Agosto 2009
S14	0.00 - 3.00 m	3.00 - 24.00 m	16.40	Agosto 2009
S15	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	2.80	Agosto 2009
S17	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	2.50	Luglio 2009

Tabella 6: Misure piezometriche Campagna di indagini CAP 2009

**CAMPAGNA SETTEMBRE - OTTOBRE 2010**

Sondaggio	Piezometro Norton		Falda da p.c. (m)	Data
	Tratto cieco	Tratto fessurato		
S2/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	12.50	Ottobre 2010
S3/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	3.60	Ottobre 2010
S6/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 20.00 m	2.30	Ottobre 2010
S7/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	2.00	Ottobre 2010
S8/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 24.00 m	8.80	Ottobre 2010
S10/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	3.10	Ottobre 2010
S12/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	9.70	Ottobre 2010
S13/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	6.90	Ottobre 2010
S14/2010	0.00 - 3.00 m	3.00 - 15.00 m	3.00	Ottobre 2010

Tabella 7: Misure piezometriche Campagna di indagini CAP 2010

Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità	Quota boccaforo	Livello Piezometrico da Boccaforo	Quota Piezometrica	Data Lettura
		(m)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m.)	
S3 PZ	Tubo Aperto	30	241,105	assente	-	30.06.17
				assente	-	01.07.17

Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità	Quota boccaforo	Livello Piezometrico da Boccaforo	Quota Piezometrica	Data Lettura
		(m)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m)	
				-19,0	222,105	02.07.17
S5PZ	Tubo Aperto	30	249,636	-7,0	242,6	19.07.17
				-8,0	241,6	20.07.17
S7 PZ	Tubo Aperto	35	260,917	-4,0	256,917	22.06.17
				-5,9	255,017	27.06.17
				-8,2	252,717	29.06.17
S10PZ	Tubo Aperto	30	265,02	-6,6	258,4	30.07.17
				-7,0	258,0	31.07.17
S14PZ	Tubo Aperto	25	269,84	-6,5	263,3	12.07.17
				-13,2	256,6	13.07.17
				-13,65	256,2	14.07.17
S15PZ	Tubo Aperto	20	260,071	assente	-	17.07.17
				-11,25	248,821	18.07.17
				-12,10	247,971	19.07.17
				-12,00	248,071	20.07.17
S16PZ	Tubo Aperto	20	260,094	-11,50	248,594	25.07.17
				-11,50	248,594	26.07.17
S24 PZ	Tubo Aperto	30	239,461	-3,5	235,961	20.10.17
				-3,2	236,261	21.10.17
				-3,7	235,761	22.10.17
S18PZ	Tubo Aperto	30	245,553	-4,1	241,453	25.10.17
				-6,6	238,953	26.10.17

Tabella 8: quadro riepilogativo dei Piezometri (campagna ANAS 2017) e relative letture piezometriche.

Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità	Quota boccaforo	Livello Piezometrico da Boccaforo	Quota Piezometrica	Data Lettura
(-)	(-)	(m)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m)	(-)
S1Dh	-	34,8	238,615	-5,00	233,615	27.05.17
				-20,00	218,615	10.06.17
				-31,50	207,115	12.06.17

Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità	Quota boccaforo	Livello Piezometrico da Boccaforo	Quota Piezometrica	Data Lettura
(-)	(-)	(m)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m)	(-)
				-34,80	203,815	13.06.17
S2Dh	-	35,0	240,915	-3,5	237,415	20.06.17
				-4,5	236,415	21.06.17
				-20,0	220,915	22.06.17
				-21,4	219,515	27.06.17
S4Dh	-	35,0	248,200	-2,5	245,700	05.07.17
				-9,0	239,200	11.07.17
S6Dh	-	35,0	248,17	-	-	14.07.17
				-12,50	237,417	15.07.17
				-26,00	223,917	16.07.17
S8Dh	-	35,0	261,270	-7,0	254,270	17.06.17
				-4,1	257,170	19.06.17
S9Dh	-	35,0	263,784	-6,0	257,784	27.07.17
				-5,7	258,084	28.07.17
S11Dh	-	35,0	225,354	-5,2	220,154	02.08.17
				-6,0	219,354	03.08.17
S12Dh	-	35,0	230,709	assente	-	24.08.17
				-7,0	223,709	25.08.17
S13 Dh	-	35,0	269,346	-3,0	266,346	02.07.17
				-12,2	257,146	03.07.17
				-14,6	254,746	04.07.17
S16Dh	-	35,0	251,243	-11,6	239,643	27.07.17
				-11,5	239,743	28.07.17
S17Dh	-	35,0	243,833	assente	-	10.11.17
				-5,1	238,7	11.11.17
				-5,1	238,7	12.11.17
				-5,4	238,4	13.11.17
S19Dh	-	39,70	191,73	-2,2	189,5	02.11.17
				-2,0	189,7	03.11.17
				-2,1	189,6	04.11.17
S21	-	39,6	237,876	-3,9	234,0	08.10.17
				-3,5	234,4	09.10.17
				-3,1	234,8	10.10.17

Sondaggio	Tipo Piezometro	Profondità	Quota boccaforo	Livello Piezometrico da Boccaforo	Quota Piezometrica	Data Lettura
(-)	(-)	(m)	(m s.l.m.)	(m)	(m s.l.m)	(-)
S22Dh	-	40,0	239,39	-3,0	236,4	28.09.17
				-4,2	235,2	05.10.17
				-4,3	235,1	06.10.17
S23Dh	-	35	240,081	-3,60	243,68	12.10.17
				-4,00	244,08	17.10.17
				-4,40	244,48	18.10.17
S25Dh	-	35	240,717	-3,00	237,72	30.08.17
				-3,50	237,22	31.08.17
				-3,50	237,22	05.09.17

Tabella 9: quadro riepilogativo del rilievo dei livelli idrici nei sondaggi non attrezzati con Piezometri (campagna ANAS 2017) e relative letture piezometriche.

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### — Inquadramento Generale

Lo sviluppo del tracciato stradale in progetto prevede le seguenti opere d'arte:

1. il rilevato stradale di 13 km circa, con altezze che arrivano anche 9 m trattato nell'elaborato "Relazione Geotecnica e di Calcolo del Rilevato Stradale";
2. i cavalcavia in numero di 6, di cui il CV06 di Svincolo allo SV di Ghemme che include due muri andatori e due paratie provvisionali;
3. i viadotti in numero di 6, di cui il VI03, VI04 e VI06 che comprendono opere provvisionali a sostegno degli scavi per la presenza di falda a piano campagna e per l'ubicazione di opere in alveo fluviale;
4. un muro di sostegno di sottoscarpa, sull'asta IN01.

Ai fini della definizione della stratigrafia di progetto per ciascun'opera d'arte, al fine di mantenere alta la rappresentatività delle prove utilizzate, si considerano i sondaggi più vicini, così come riportato in Tabella 10, la cui interpretazione è rappresentata nelle stratigrafie di calcolo descritte in Tabella 12.

CODICE	PK	OPERA	Sondaggi di Riferimento	Stratigrafia di calcolo
(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
CV01	25+600	Cavalcavia SP Rolino - Buronzo	S1DH	1
CV02	26+675	Cavalcavia SP Rolino - Rovasenda	S2DH; S3PZ	2
OM01		Muro di Sottoscarpa su IN01 (SP317)		
VI01	28+500	Ponte Torrente Guarabione	S4DH; S5PZ; S6DH	3
CV03	28+700	Cavalcavia SP Masserano - Rovasenda		
VI02	30+475	Ponte San Giorgio		
CV04	31+400	Cavalcavia SP Roasio - Rovasenda	S7PZ; S8DH;	5
VI03	38+800	Ponte Rovasenda	S7PZ; S8DH; S9DH	6
VI04	32+250	Ponte Torbola L = 20 m	S9DH; S11DH	7
VI05	34+400	Ponte Marchiazza L = 82 m	S12DH	8
CV05	37+950	Cavalcavia SP 594 - Sv Gattinara	S17DH; S18PZ	9
VI06	39+175	Viadotto Sesia SP1 - Pile P1-P4	S19DH; SS3 - SS4; Si1-DH; Si2; Si3	10
VI06	39+995	Viadotto Sesia Pile P5-P8 - SP2 -	S21; S22; SS1-SS2; Si4	11
CV06	-	Cavalcavia Svincolo di Ghemme	S23DH; S24DH; S25DH;	12

Tabella 10: sondaggi di riferimento per ciascuna opera d'arte

Distanza Progressiva della sezione significativa	Solido Stradale	Sondaggio di riferimento	Stratigrafia di calcolo
(km)	(-)	(-)	(-)
25+575	Trincea	S1DH	1
28+450	Rilevato	S4DH	2
29+600	Rilevato	S9/2010	4
32+275	Rilevato	S10pz	7
36+975	Rilevato	S16DH; S13/2010	13
38+850	Rilevato	15/2009	10

Tabella 11: sezioni di studio di rilevato e trincea per le analisi di stabilità e stima dei cedimenti

Stratigrafia di Calcolo	Sondaggi di Riferimento	Colore	Quota_sommitale (da p.c.)	Quota_basale (da p.c.)	Unità Geotecnica
(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)
1	S1DH		0 5,0	5,0 35,0	Ug1 Ug3
2	S2DH; S3PZ		0,0 1,4 11,0 30,0	1,4 11,0 30,0 35,0	Ug1 Ug2 Ug3 Ug2
3	S4DH; S5PZ; S6DH		0,0 3,5 12,5 28,0	3,5 12,5 28,0 35,0	Ug1 Ug2 Ug3 Ug2
4	S7PZ; S8DH; S9/2010		0,0 4,5 12,0	4,5 12,0 40,0	Ug1 Ug2 Ug3
5	S7PZ; S8DH;		0,0 4,5 12	4,5 12,0 40,0	Ug1 Ug2 Ug3
6	S7PZ; S8DH; S9DH		0,0 4,5 12	4,5 12,0 40,0	Ug1 Ug2 Ug3
7	S9DH; S11DH		0 2,7	2,7 10,3	Ug1 Ug2

Stratigrafia di Calcolo	Sondaggi di Riferimento	Colore	Quota_sommitale (da p.c.)	Quota_basale (da p.c.)	Unità Geotecnica
(-)	(-)	(-)	(m)	(m)	(-)
			10,3	40	Ug3
			0,0	3,3	Ug1
8	S12DH		3,3	4,5	Ug3
			4,5	11,7	Ug2
			11,7	31	Ug3
			31,0	40	Ug2
			0,0	12,5	Ug3
9	S17DH; S18PZ		12,5	40,0	Ug4
			0	12	Ug5
10	S19DH; SS3 - SS4; Si1-DH; Si2; Si3		12	18	Ug6
			18	60	Ug7
			0	10	Ug5
11	S21; S22; SS1-SS2; Si4		10	26	Ug6
			26	60	Ug7
			0	1,5	Ug1
12	S23DH; S24DH; S25DH;		1,5	40	Ug7
			0	3	Ug1
13	S16DH; S13/2010		3	40	Ug2

Tabella 12: definizione delle stratigrafie di calcolo in unità geotecniche fondamentali

Come si può osservare, l'interpretazione dei sondaggi può essere condensata distinguendo 7 Unità Geotecniche fondamentali la cui identificazione e caratterizzazione viene di seguito definita.

## — Caratterizzazione Geotecnica da Prove in Situ

### ➤ *Densità Relativa*

Per la determinazione della densità relativa dei materiali granulari, sono stati adoperati i risultati delle prove SPT, facendo riferimento alla correlazione empirica proposta da Skempton 1986:

$$(N_1)_{60} / D_R^2 \cong 60 \div 65$$

dove i valori di  $N_{SPT}$  corretti e rappresentati come  $(N_1)_{60}$  per tenere conto dell'influenza della tensione di confinamento crescente con la profondità e dell'energia effettivamente trasmessa dal sistema di battuta alle aste del sistema. In base alle modalità esecutive delle prove SPT e delle caratteristiche delle attrezzature usualmente impiegate in Italia, il valore dell'energia effettivamente trasferita alle aste di battuta è generalmente pari al 55-60% dell'energia teoricamente disponibile. In Figura 2 sono presentati i risultati dell'applicazione della citata correlazione, per i valori delle prove eseguite su tutti i sondaggi della campagna ANAS 2017, distinti per sondaggio, dove si osserva che i valori di densità relativa stimati, raramente mostrano valori inferiori al 60%, segno del buon grado di addensamento del materiale.

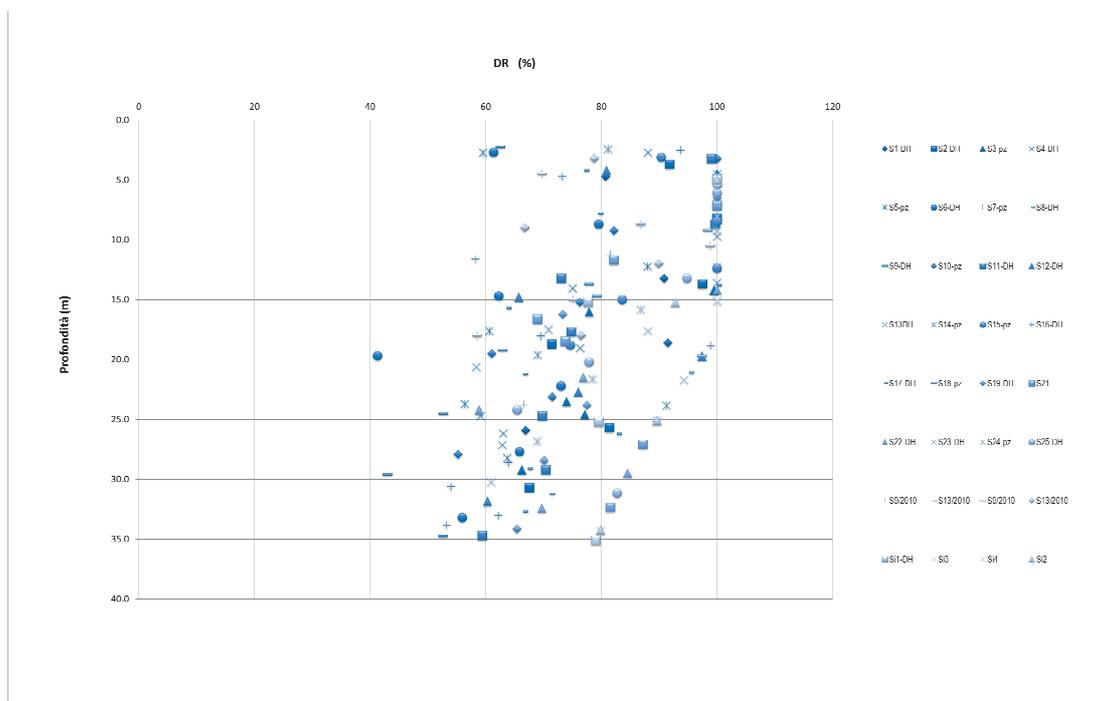


Figura 2: stime di Densità Relativa da Prove SPT

### ➤ **Deformabilità**

La stima delle caratteristiche di deformabilità a partire dai risultati delle prove tipo SPT non è di regola agevole ed esaustiva, come ampiamente illustrato in letteratura. Le correlazioni più frequentemente impiegate, pertanto, forniscono valori di parametri di deformabilità a valori fissati di deformazione e spesso grazie a correlazioni legate alla natura fisica e mineralogica dei materiali.

Nel caso in esame, per quanto riguarda i risultati di prove SPT, sono stati stimati valori del modulo elastico di Young  $E$  (in condizioni drenate) attraverso le seguenti correlazioni:

$$E' = N_{SPT} \cdot [10,5 - (3,5 \cdot D_r)]$$

proposta da Jamiolkowski et al. (1988) dove il modulo  $E'$  così determinato è da intendersi come un modulo secante corrispondente a tensioni pari al 25% delle tensioni a rottura. La  $D_r$  utilizzata può essere definita tramite le relazioni utilizzate nella presente relazione;

$$E' = S_1 \cdot N_{SPT} + S_2$$

proposta da Denver (1982) dove  $S_1$  e  $S_2$  sono costanti che assumono valori in funzione della granulometria e della litologia secondo quanto suggerito dall'autore e riportato in Figura 3.

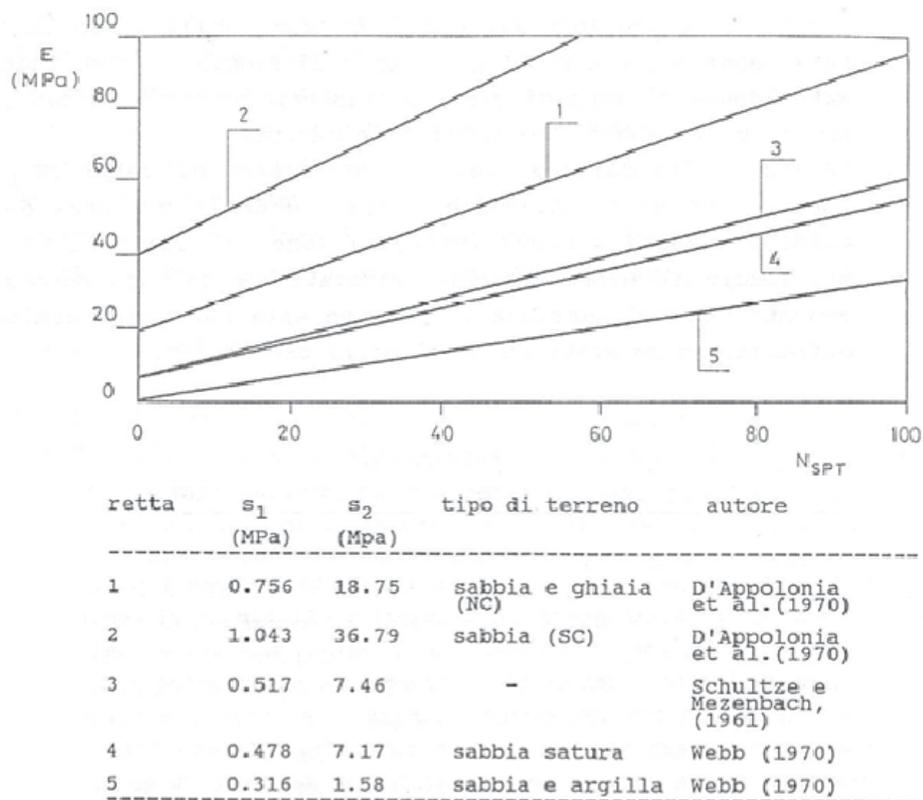


Figura 3: correlazione tra modulo di Young e NSPT (Denver, 1982)

Infine, una stima attendibile del modulo elastico  $E'$  a partire dai risultati delle prove SPT, si ottiene con la relazione reperibile sul testo di Bowles, (1991):

$$E' = C_1 \cdot (N'_{55} + C_2)$$

dove  $C_1$  ed  $C_2$  sono coefficienti variabili rispettivamente tra 500 a 1200 e 6 oppure 15 in funzione del tipo di terreno ed  $N'_{55}$  si ricava a partire dal numero di colpi standard  $N'_{70}$ , calcolato, a partire dal valore NSPT, con la seguente relazione:

$$N'_{70} = CN \cdot N_{SPT} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

in cui:

- $CN$  è un coefficiente che tiene conto del sovraccarico, ed è calcolato secondo la formula di Liao e Whitman (1986), e pari a 1.92;
- $\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$  sono fattori correttivi che dipendono rispettivamente dal tipo di maglio, dalla lunghezza della fune, dal tipo di sonda campionatrice e dal diametro del foro. Nel caso in esame, si considerano pari ad 1.

Per passare da  $N_{70}$  a  $N_{55}$  si utilizza la seguente espressione (rif. Bowles - par. 3.7):

$$N'_{55} = \frac{70}{55} \cdot (N'_{70})$$

In corrispondenza di terreni sabbiosi e ghiaiosi, con  $N_{SPT} > 15$ , il modulo elastico  $E'$  si ricava mediante la seguente relazione (cfr. Bowles - Tab. 5.5):

$$E' = 600 \cdot (N'_{55} + 6) + 2000$$

I valori del modulo di Young, ricavati con le diverse correlazioni, sono rappresentati graficamente in Figura 4. Si osservano con entrambe le correlazioni valori del Modulo di Young molto raramente inferiori al 25 MPa.

### ➤ **Permeabilità**

Nella campagna ANAS 2017, non sono state eseguite prove di permeabilità in situ.

La loro utilità entra in gioco nei seguenti problemi:

- 1- tra le opere d'arte sul tracciato in oggetto, si riconosce la necessità di scavi a cielo aperto in presenza di falda affiorante a piano campagna per i viadotti VI03, VI04 e VI06. Per questi i cui

litotipi superficiali sono rappresentati in Tabella 12, sono previste opere provvisorie di sostegno degli scavi, le cui verifiche di sifonamento sono riportate nelle relazioni specifiche. Trattasi di materiali a grana grossa, prossimi ad alveo fluviale, pertanto privi di matrice limoso sabbiosa di contorno e quindi dotati di valori elevati del coefficiente di permeabilità.

- 2- con riferimento al calcolo del decorso dei cedimenti nel tempo del rilevato stradale, si è fatto riferimento al calcolo della permeabilità in prova edometrica, di cui vi è un'ampia disponibilità.

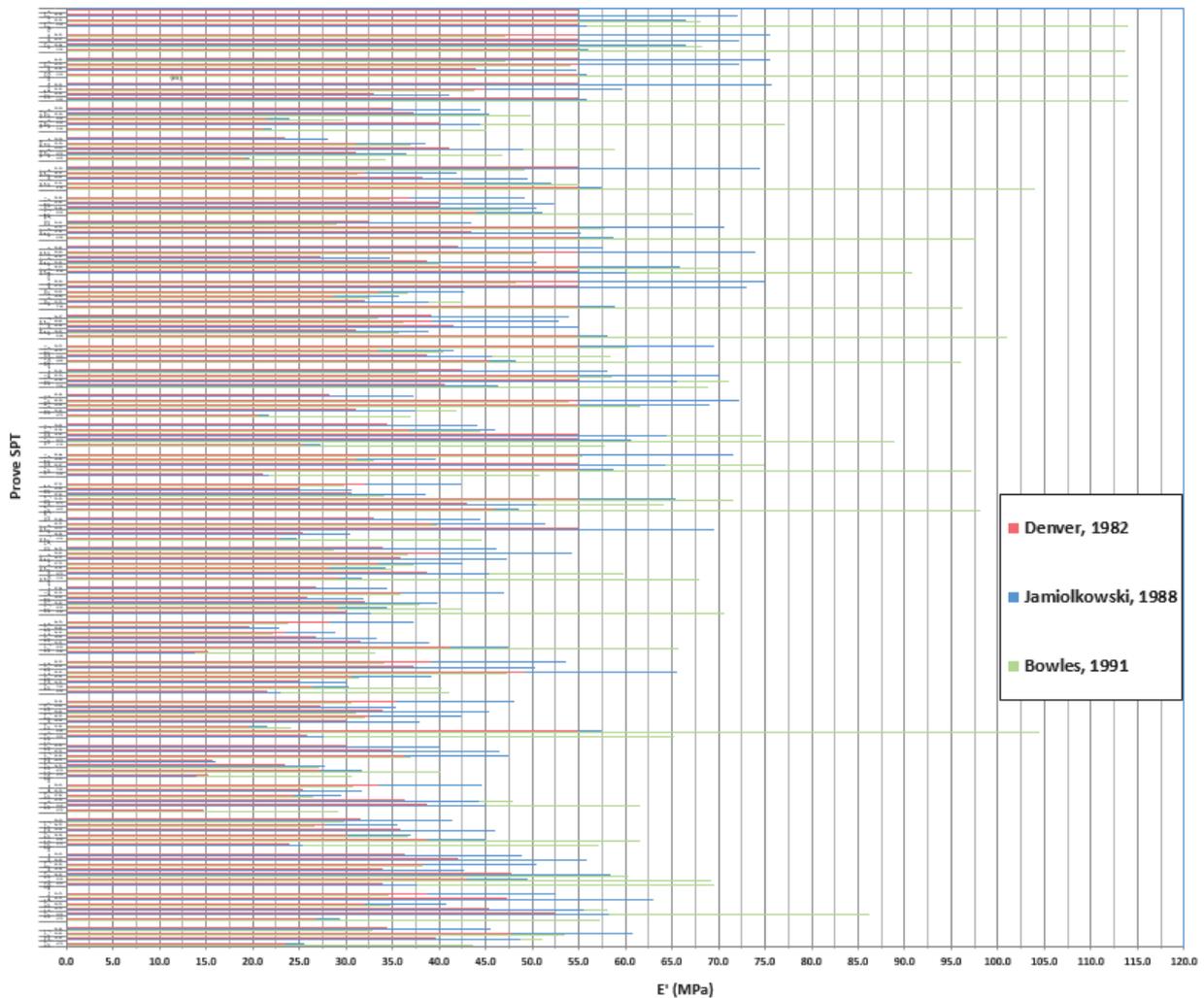


Figura 4: stima dei valori del modulo di Young, ricavati con le diverse correlazioni.

### ➤ **Resistenza al taglio**

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio dei materiali non coesivi, per l'area oggetto dell'intervento, sono stati adoperati anche i risultati delle prove SPT, facendo riferimento alla correlazione empirica proposta da Schmertmann (1977):

$$\phi' = 28 + 0.14Dr$$

Dove la densità relativa è stata determinata sempre tramite prove SPT.

Altre elaborazioni sono state eseguite con la relazione della Japan Road Association:

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

e la relazione proposta da Peck:

$$\phi' = 0,3N_{SPT} + 20$$

Per un inquadramento di insieme dei terreni del sito fondale in oggetto, sono presentati in Figura 5 i risultati dell'applicazione delle citate correlazioni per tutte le prove penetrometriche della campagna di indagine. I valori dell'angolo di resistenza al taglio, stimati dalle prove SPT, assumono valori superiori a 29°, in relazione alla granulometria granulare in matrice limosa presente in situ, eccetto il litotipo superficiale di carattere prevalentemente limoso-argilloso che mostra un angolo di resistenza al taglio pari a 26°.

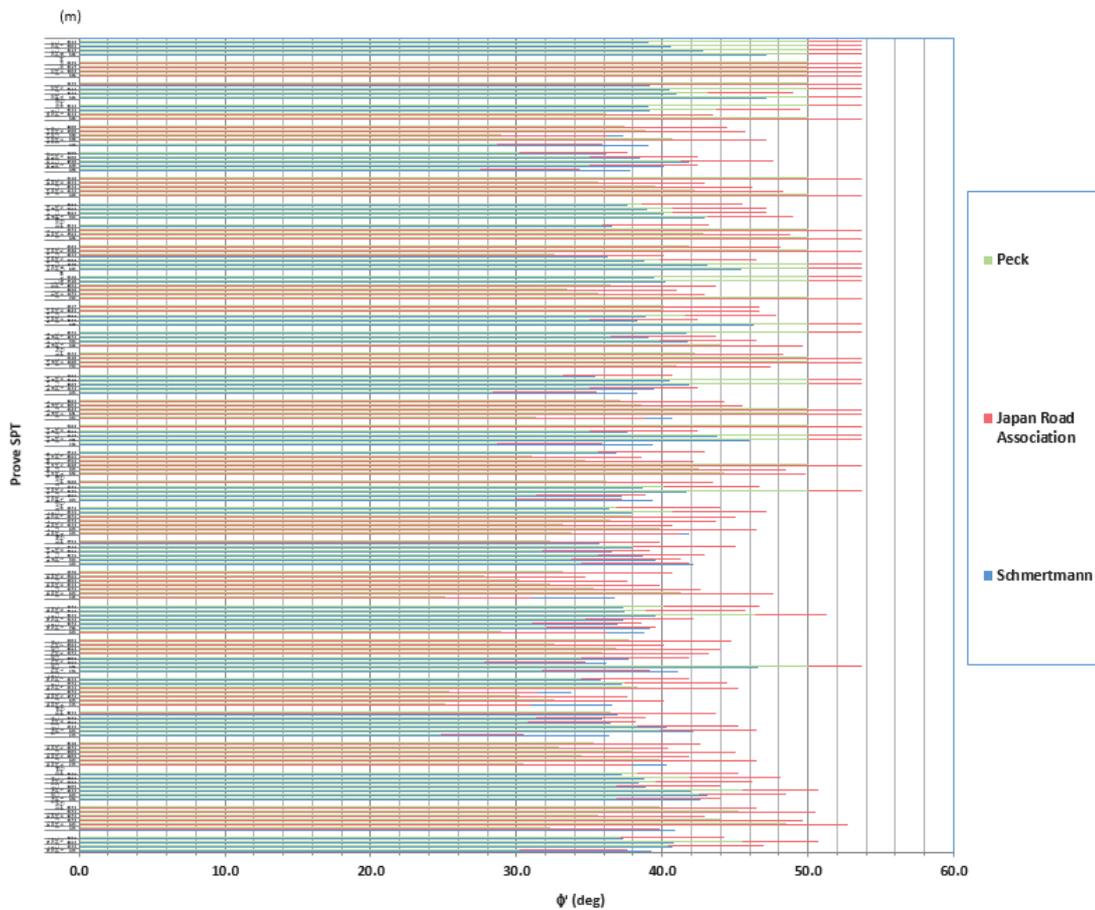


Figura 5: stima dell'angolo di resistenza al taglio dati dai Sondaggi  
(campagna Anas 2017 e Anas 2018)

Dall'elaborazione dei dati in situ, si riconosce come le unità geotecniche espresse in precedenza nelle stratigrafie d'indagine, sono caratterizzate dalla risposta sperimentale relativamente omogenea. Di seguito sono presentate delle elaborazioni dei risultati sperimentali per ogni unità geotecnica, per stimare i parametri dell'angolo di resistenza al taglio e del modulo di elasticità longitudinale. Ogni prova SPT, benchè interpretata con tre diverse correlazioni citate per ciascun parametro, viene sintetizzata in un unico valore di output ottenuto come il valor medio tra il valor medio ed il valor minimo dell'applicazione delle tre correlazioni al valore di  $N_{spt}$ ; ciò vale sia per l'angolo di resistenza al taglio che per il modulo di elasticità longitudinale.

In Figura 6 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug1, affiorante a piano campagna e esteso nei primi metri di profondità; si osserva che il valor medio dei punti sperimentali è circa  $30^\circ$ .

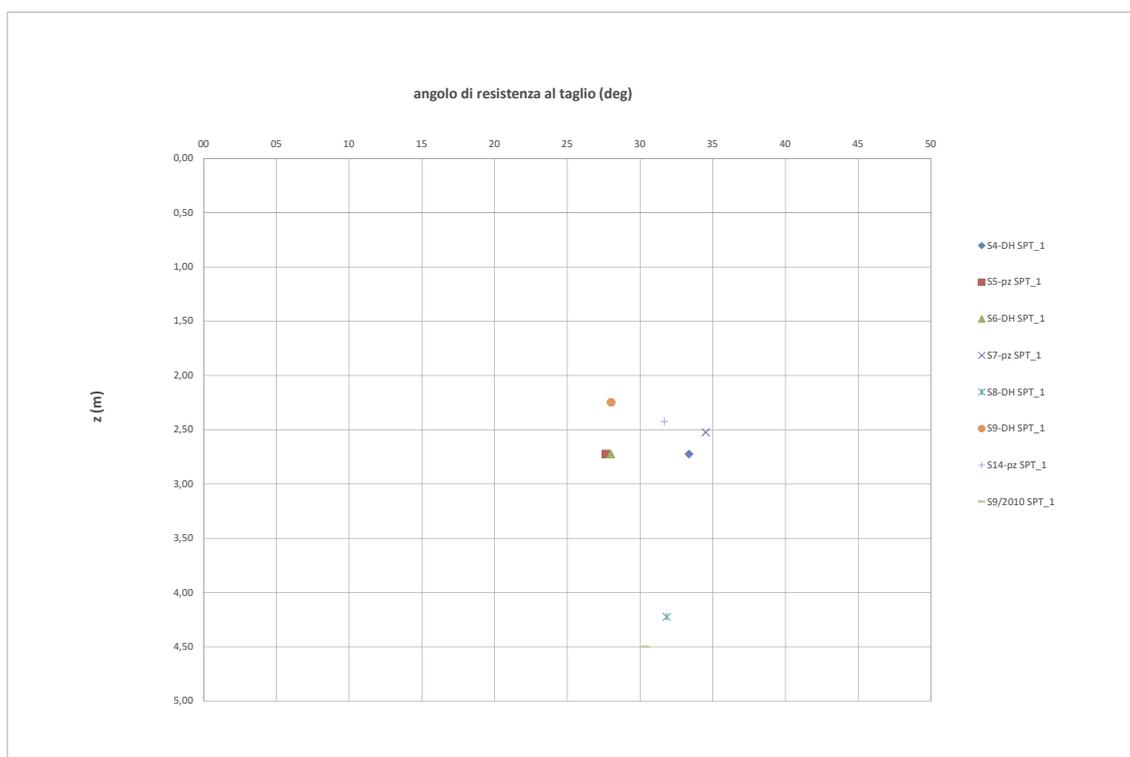


Figura 6: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug1

In Figura 7 è rappresentata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, dove si può osservare che il valore del modulo rappresentativo può essere assunto pari a 26 MPa.

In Figura 8 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug2, esteso nella fascia di profondità che mediamente va tra 5 e 15 m sotto il piano campagna. Stante la mole di dati elaborati, questi sono identificati in legenda per sondaggio e non per singola prova

penetrometrica. Benchè, vi è una certa dispersione dei risultati sperimentali, probabilmente imputabili alla ridotta densità superficiale dei campioni rispetto all'estensione dell'area che coprono, si osserva che un valore rappresentativo del comportamento del materiale può essere assunto pari a 36°.

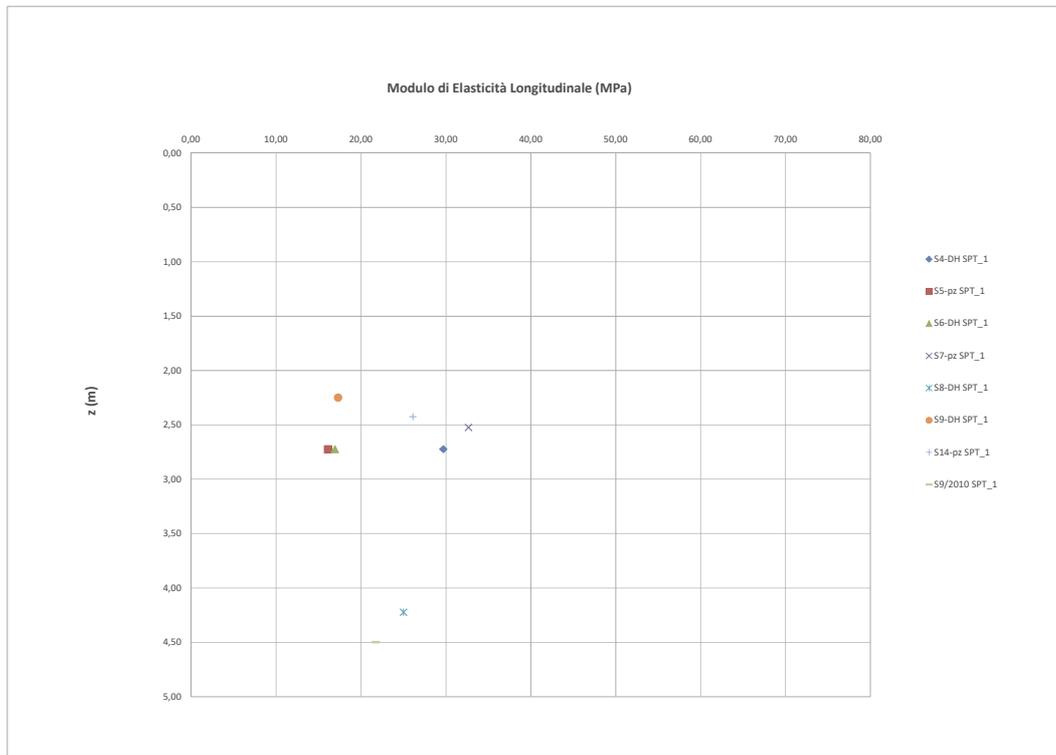


Figura 7: variazione del Modulo E' da prove SPT per il litotipo Ug1.

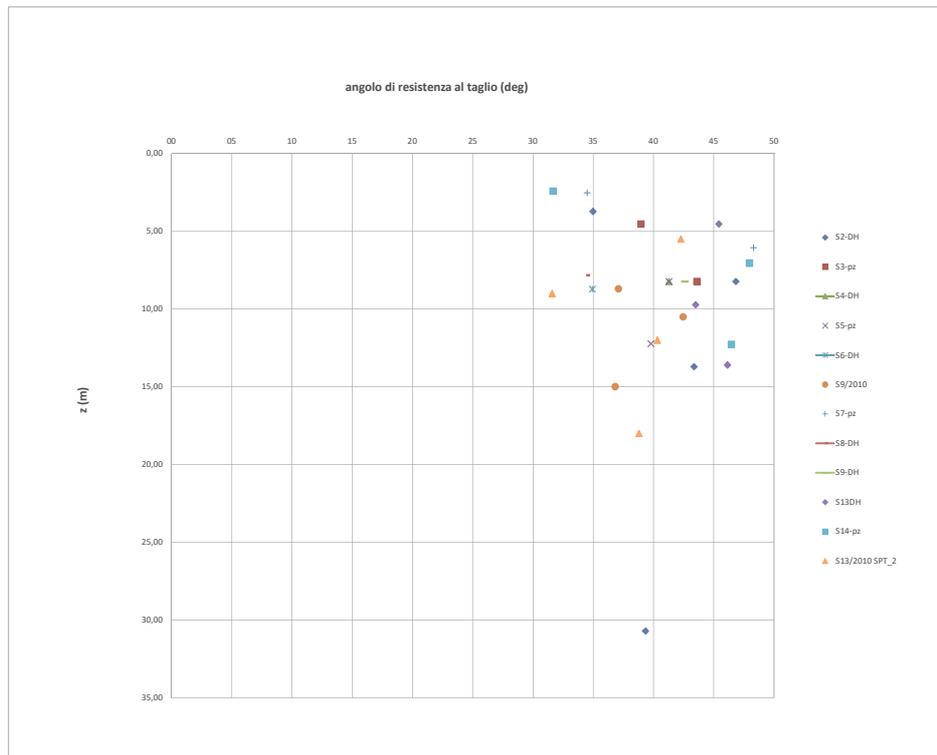


Figura 8: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug2.

In Figura 9 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare che un valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 30 MPa.

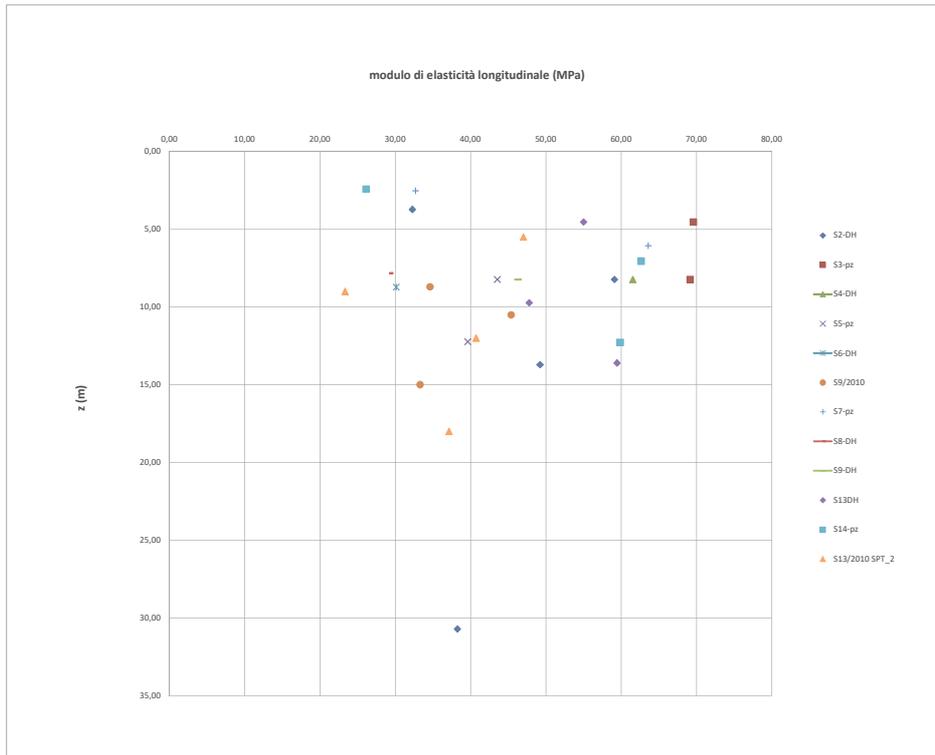


Figura 9: variazione del Modulo E' da prove SPT per il litotipo Ug2.

In Figura 10 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug4, simile a quello sopra citato, per caratteristiche granulometriche, ma presente a profondità rilevanti in corrispondenza dello svincolo di Gattinara; si osservano alti valori dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT, segno che la risposta sperimentale è governata dalla componente granulare.

In Figura 11 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare che un valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 40 MPa.

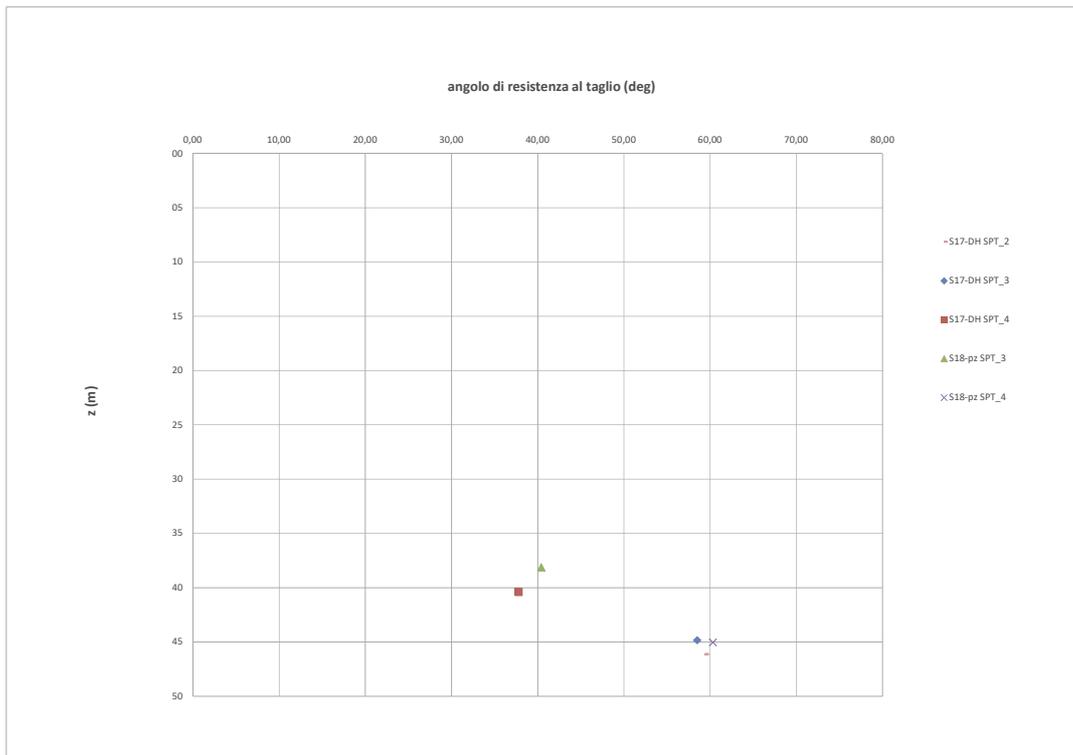


Figura 10: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug4.

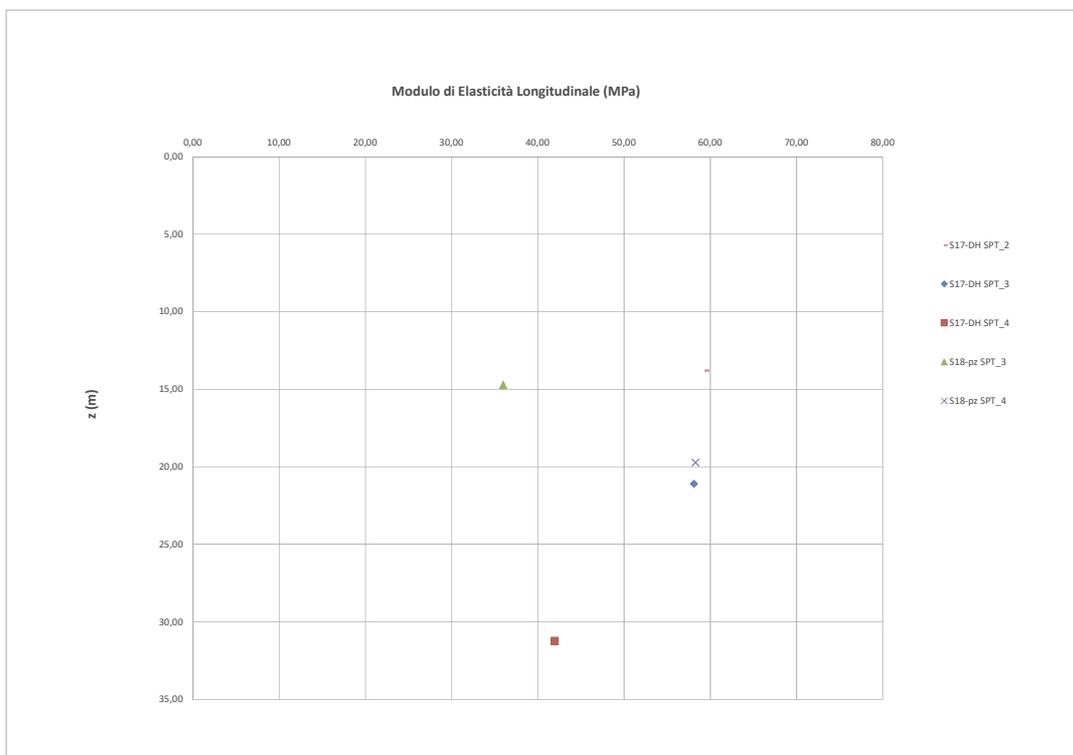


Figura 11: variazione del Modulo E' da prove SPT per il litotipo Ug4.

In Figura 12 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug3, molto diffuso a diverse profondità su tutta l'estesa del tracciato stradale di progetto. A fronte del notevole numero di prove analizzate, motivo per il quale in leggenda vengono raggruppate per sondaggio, si osserva una certa concentrazione dei dati sperimentali, ben compendiate da un valore caratteristico circa pari a 29°. Sebbene, infatti il valor medio della nuvola di punti appare anche maggiore di 35°, è evidente che la risposta sperimentale è influenzata dalla composizione granulometrica del materiale. La risposta a prove penetrometriche statiche dipende dalla componente granulare, la risposta a prove di laboratorio TX e DS dipende dalla componente a grana fine.

In Figura 13 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare invece una maggiore dispersione dei dati, il cui valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 30 MPa.

Per ciò che attiene alle unità geotecniche in alveo del Fiume Sesia, e in aree immediatamente adiacenti, come quelle sottese dal CV06, dello Svincolo di Ghemme, i sondaggi di riferimento vanno da S19 a S25.

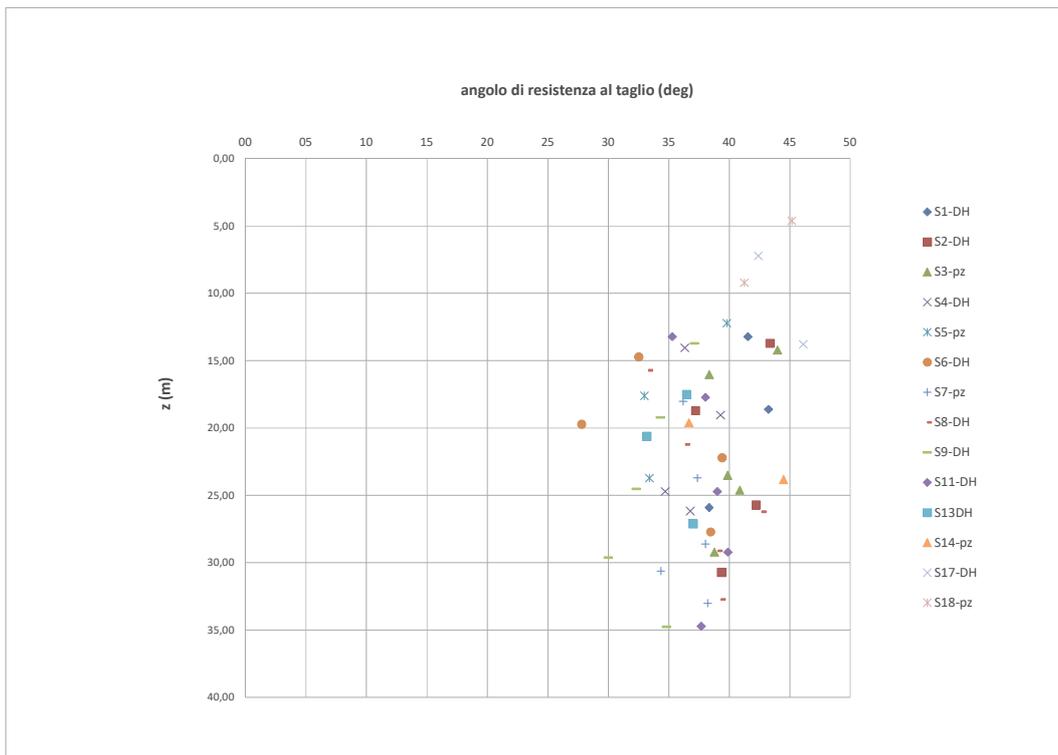


Figura 12: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug3.

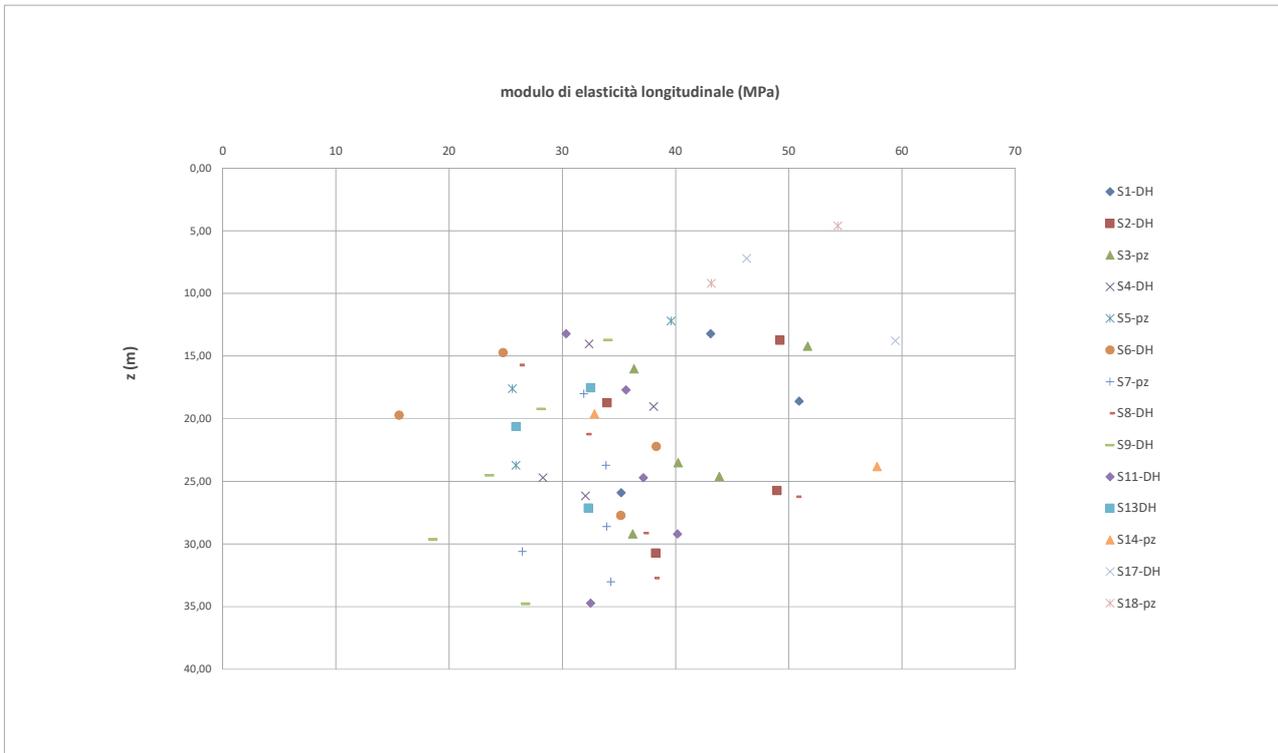


Figura 13: variazione del Modulo  $E'$  da prove SPT per il litotipo Ug3.

Lo studio relativo ai litotipi Ug5, Ug6 e Ug7, per lo più compresi nell'alveo fiume Sesia, tiene conto delle indagini integrative campagna ANAS 2018 ed i diagrammi sono aggiornati rispetto alla Rev. A della presente relazione.

In Figura 14 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug5, compreso entro i 12 m di profondità da piano campagna; si osserva che a fronte di valori frutto di elaborazione sperimentale circa pari a  $47^\circ$ , si può assumere come valore caratteristico il valore di  $37^\circ$ . In Figura 15 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare un andamento simile, per cui il cui valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 55 MPa.

In Figura 16 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug6, compreso nella fascia 12 – 18/26 m di profondità da piano campagna (18 m : estremo inferiore stratigrafia VI06 lato Masserano; 26 m: estremo inferiore stratigrafia VI06 lato Ghemme); si osservano valori elevati dell'angolo di resistenza al taglio la cui scelta del valore caratteristico viene discussa più avanti confrontando i dati sperimentali di situ con quelli di laboratorio. In Figura 17 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare un andamento simile, per cui il cui valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 35 MPa.

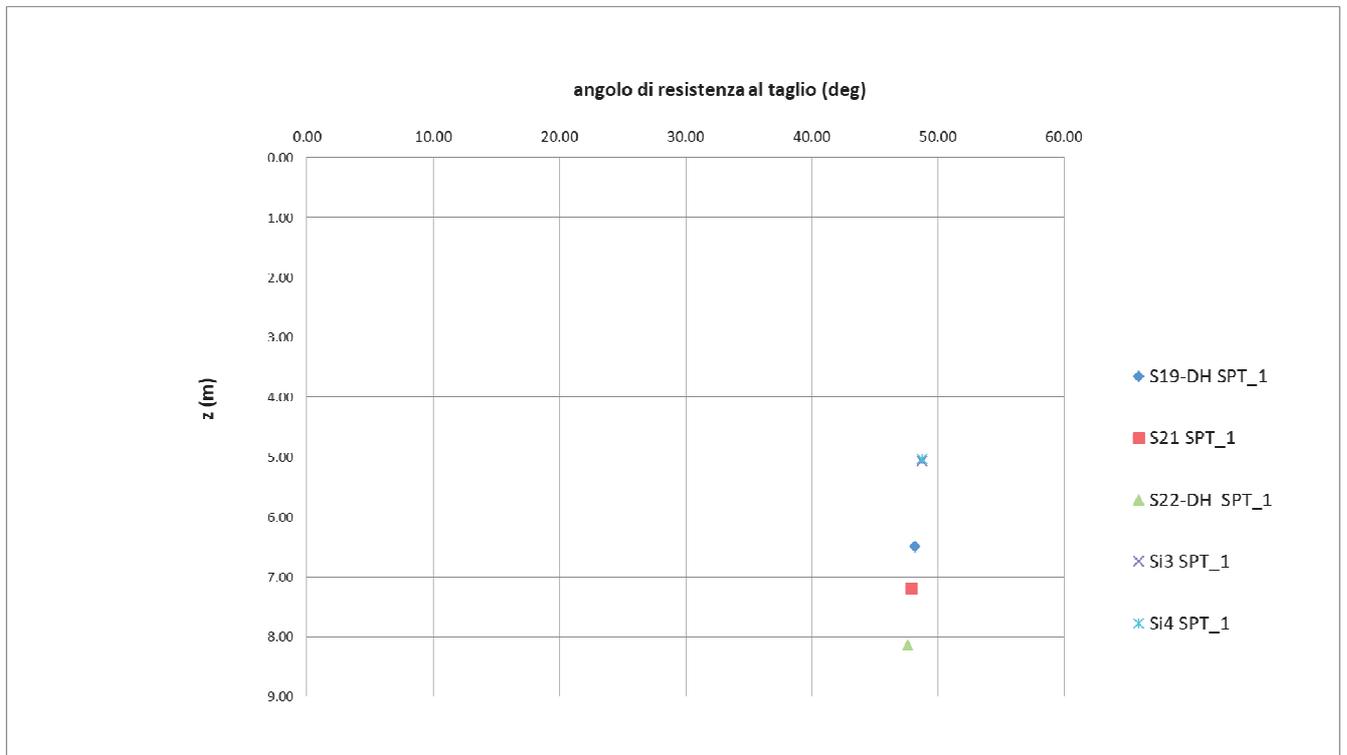


Figura 14: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug5.

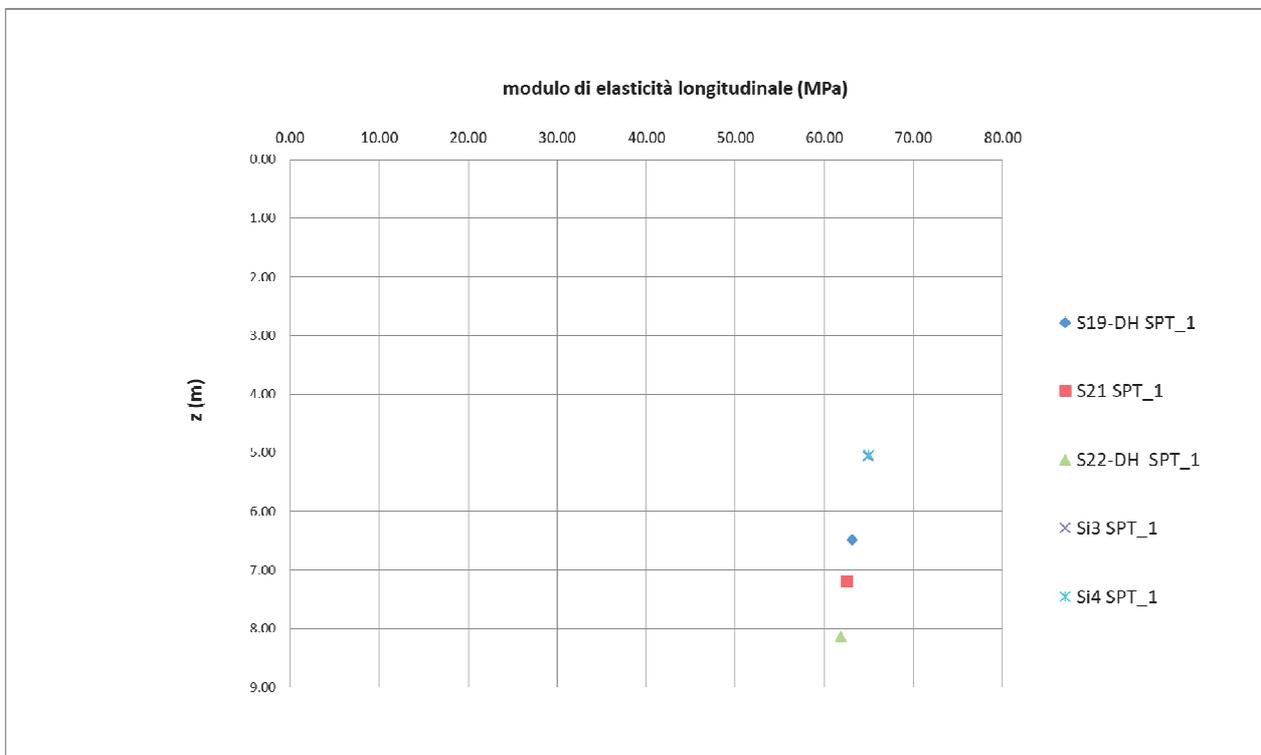


Figura 15: variazione del Modulo  $E'$  da prove SPT per il litotipo Ug5.

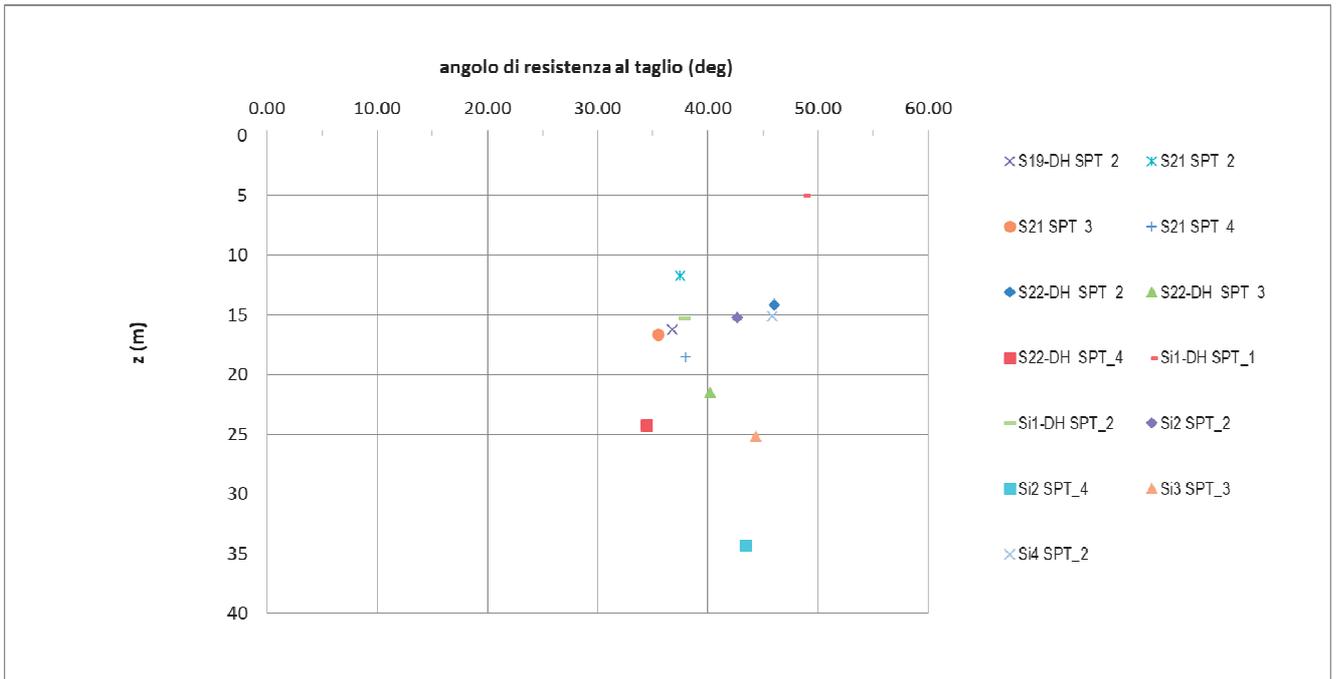


Figura 16: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug6.

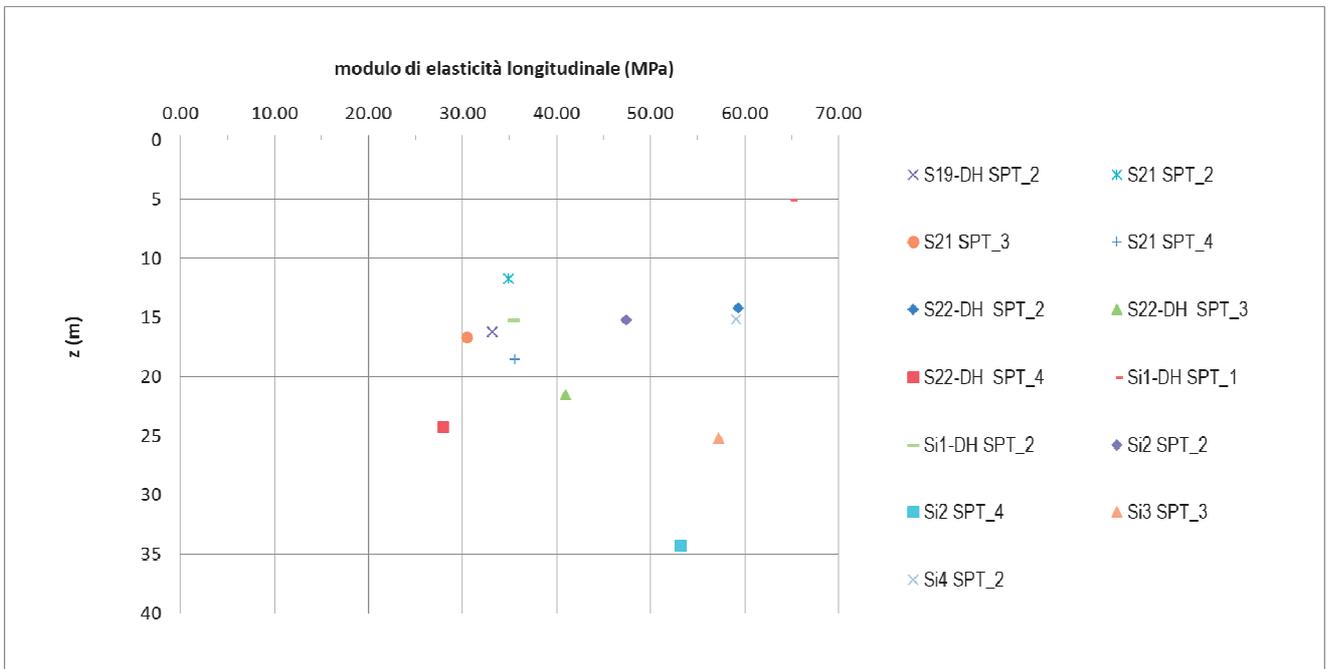


Figura 17: variazione del Modulo E' da prove SPT per il litotipo Ug6.

In Figura 18 è rappresentata la variazione dell'angolo di resistenza al taglio con la profondità per il litotipo Ug7. Si nota che mentre per i sondaggi S19, S21 e S22, sono considerate solo alcune prove penetrometriche, per i Sondaggi S23, S24 e S25 vengono considerate tutte le prove, in quanto eseguite in nella medesima tipologia di terreno. Altresì, sono incluse le prove dei sondaggi della Campagna Integrativa ANAS 2018. Questo litotipo è compreso per lo più nella fascia 18/26 - 60 m di profondità da piano campagna (18 m : estremo superiore stratigrafia VI06 lato Masserano; 26 m: estremo superiore stratigrafia VI06 lato Ghemme), mentre si estende per tutta la profondità di interesse nelle opere inerenti il CV06. Nel diagramma si osservano valori elevati dell'angolo di resistenza al taglio la cui scelta del valore caratteristico viene discussa più avanti confrontando i dati sperimentali di situ con quelli di laboratorio. In Figura 19 dove è riportata la variazione con la profondità del modulo di elasticità longitudinale dello stesso litotipo, si può osservare un andamento similare, per cui il cui valore del modulo rappresentativo del comportamento del materiale, può essere assunto pari a 40 MPa.

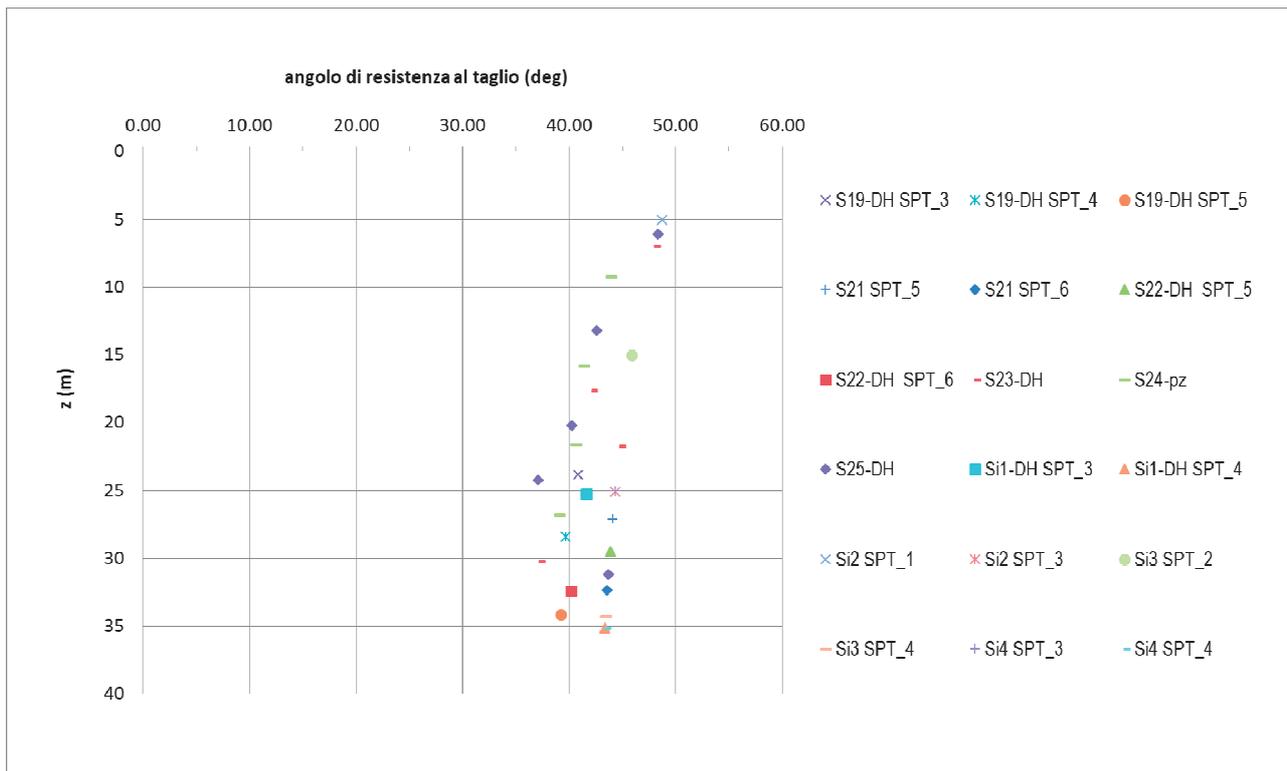


Figura 18: variazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT per il litotipo Ug7.

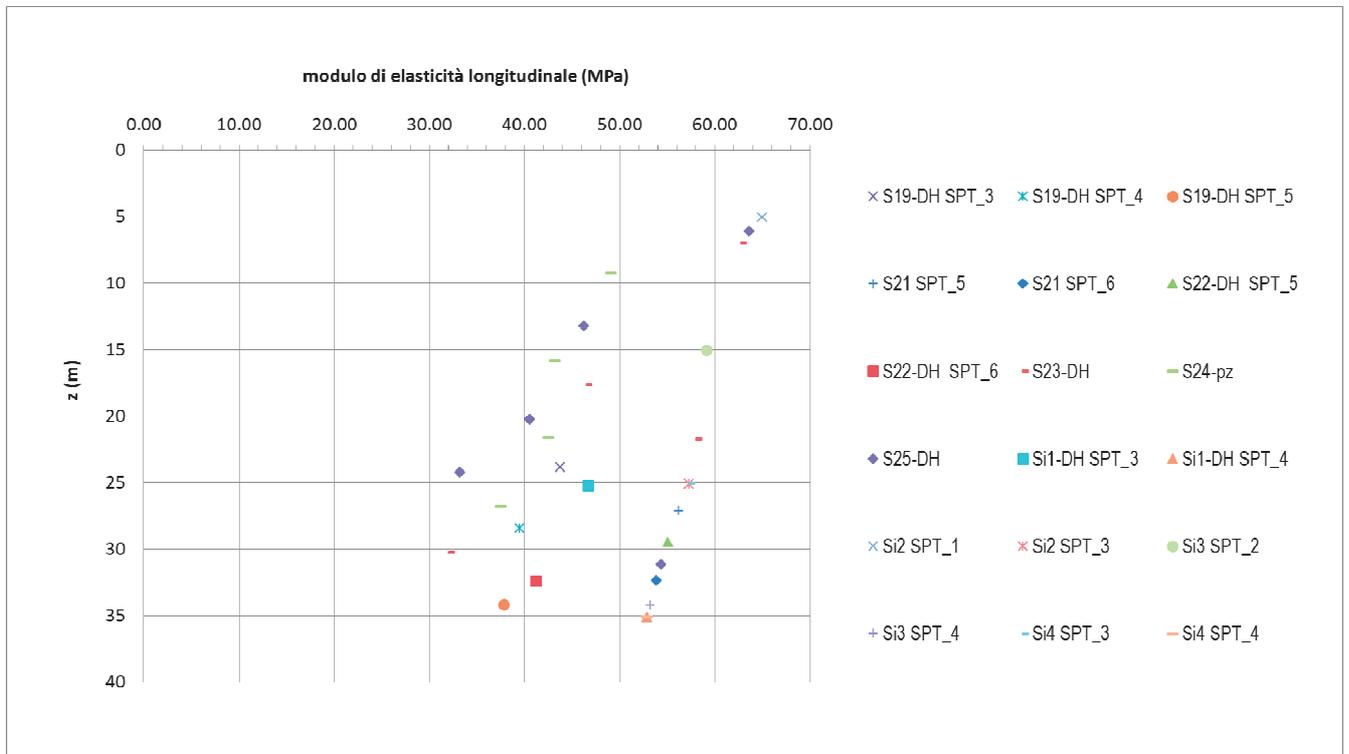


Figura 19: variazione del Modulo E' da prove SPT per il litotipo Ug7.

## — Caratterizzazione Geotecnica da Prove di Laboratorio

### ➤ *Identificazione e Classificazione*

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte nella Relazione Geologica, in base ai risultati delle prove in foro e all'analisi dei risultati delle prove di laboratorio, con particolare attenzione alle distribuzioni granulometriche, è stato possibile riconoscere nell'area di studio diverse unità geotecniche fondamentali. Si rappresenta che la classificazione geotecnica assunta, è forzatamente una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni reciproche delle diverse facies. Pertanto all'interno dell'unità geotecnica n. 7, ad esempio, è possibile la presenza di orizzonti sabbiosi e/o limoso-sabbiosi. Le unità geotecniche vanno pertanto intese come unità le cui caratteristiche geotecniche sono definite prevalentemente dalla facies dominante; variazioni di granulometria estese arealmente in modo più o meno significativo, e quindi di caratteristiche geotecniche vanno comunque prese in considerazione. La classificazione proposta nell'ambito del Progetto Definitivo è basata principalmente sulla distinzione granulometrica dei terreni incontrati, come di seguito evidenziato.

Sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove di classificazione e identificazione dello stato fisico dei terreni. Le principali proprietà indice e le caratteristiche fisiche e di stato dei terreni investigati sono riportate in Tabella 4. In Tabella 13 è riportato l'insieme di campioni che hanno composizione granulometrica omogenea, che viene discussa in Tabella 14, dove è riportata la composizione granulometrica media dei campioni suddetti, e la classifica secondo le Raccomandazioni AGI (1977). La classifica granulometrica dell'Unità Ug2, esprimibile come Sabbia e Ghiaia debolmente argillosa e debolmente sabbiosa, è attribuita idealmente sulla base della descrizione dei sondaggi in assenza di granulometrie.

S1 DH C1	S1 DH C2	S12 DH C3	S14 PZ C2	S3 PZ C1	S4 DH C4	S6 DH C4	S9 DH C2
S5PZ C1	S1 DH C3	S12 DH C4	S14 PZ C3	S3 PZ C2	S5 PZ C2	S7 PZ C1	S9 DH C3
S6DH C1	S1 DH C4	S12 DH C5	S2 DH C2	S3 PZ C3	S5 PZ C3	S7 PZ C2	S9 DH C4
S8 DH C1	S11 DH C2	S13 DH C1	S2 DH C3	S3 PZ C4	S5 PZ C4	S7 PZ C3	
S11DH C1	S11 DH C3	S13 DH C2	S2 DH C4	S4 DH C2	S6 DH C2	S8 DH C2	
S14PZ C1	S12 DH C2	S13 DH C3	S2 DH C5	S4 DH C3	S6 DH C3	S8 DH C3	
S17 DH C1	S17 DH C2	S17 DH CR1	S17 DH CR2	S17 DH CR3	S18 PZ C1	S18 PZ CR1	S18 PZ CR2

Tabella 13: identificazione dei campioni utilizzati per la definizione dei litotipi omogenei

Composizione Granulometrica Media				Sigla	Classifica Granulometrica	Colore
ghiaia	sabbia	limo	argilla			
(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)	(-)
1,3	26,8	55,8	16,0	Ug1	limo con sabbia, argilloso, debolmente ghiaioso	
-	-	-	-	Ug2	sabbia con ghiaia, debolmente limosa, debolmente argillosa	
2,9	61,7	29,5	5,9	Ug3	sabbia con limo, debolmente argillosa, debolmente ghiaiosa	
7,4	52,5	28,5	11,6	Ug4	sabbia con limo, argillosa, debolmente ghiaiosa	

Tabella 14: composizione granulometrica dei litotipi e relativa classificazione

L'elaborazione delle prove di classificazione e meccaniche sui campioni suddetti mostra i diagrammi riportati nelle figure successive. In Figura 20 ed in Figura 21 è riportata la variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo, rispettivamente per i litotipi citati in Tabella 14. In Figura 20 ed in Figura 21 si osserva che il valor medio del peso dell'unità di volume naturale può essere assunto pari a  $19,50 \text{ kN/m}^3$ , mentre il Peso dell'Unità di Volume Saturo può essere assunto pari a  $20,00 \text{ kN/m}^3$ ; mentre dalla Figura 22, per il litotipo Ug4, rispettivamente si può assumere  $19,00 \text{ kN/m}^3$  e  $19,50 \text{ kN/m}^3$ .

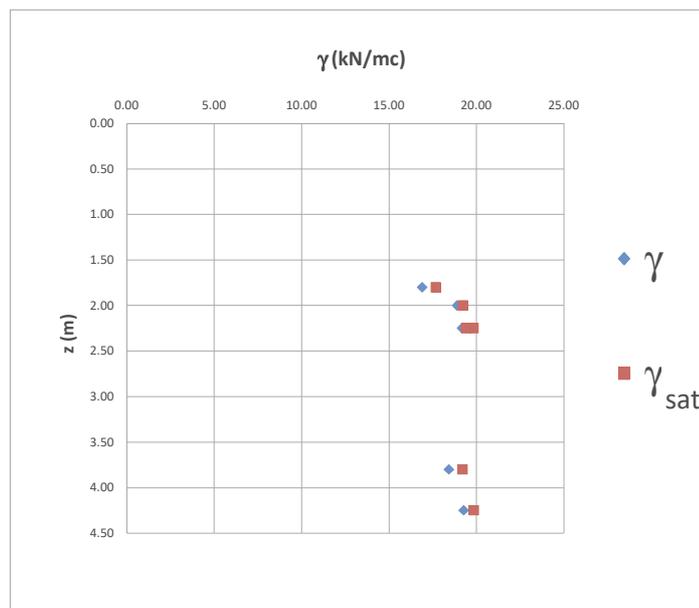


Figura 20: Variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo per il litotipo Ug1

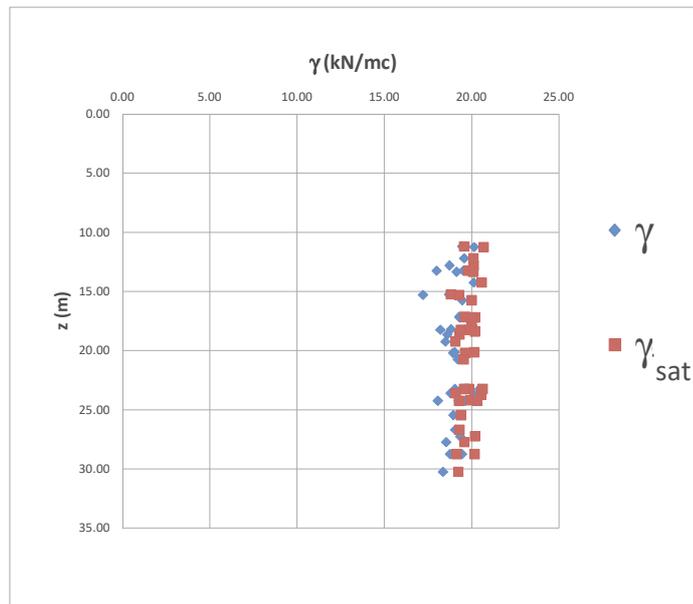


Figura 21: Variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo per il litotipo Ug3

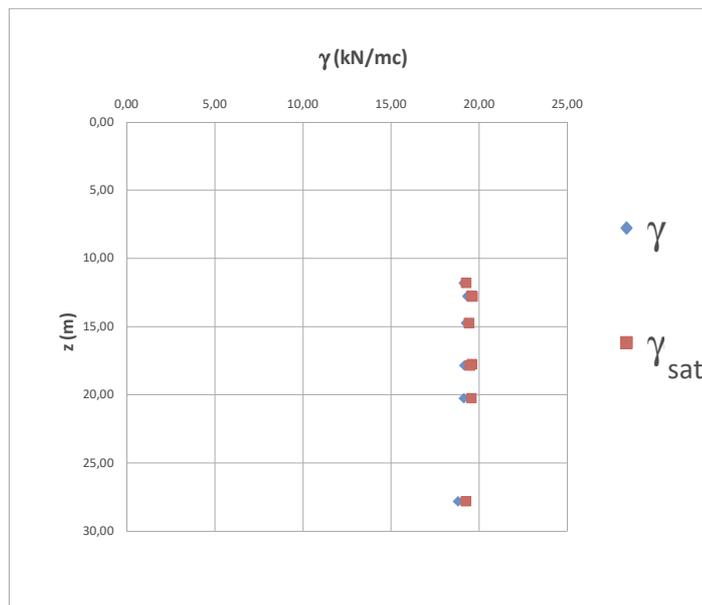


Figura 22: Variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo per il litotipo Ug4

In Figura 23, in Figura 24 ed in Figura 25 è riportata la variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per i litotipi citati in Tabella 14. Si osserva che il litotipo Ug1, ubicato entro i primi metri di profondità dal piano campagna, mostra un valore dell'Indice di plasticità mediamente pari a 16,9 % (Figura 23), il Litotipo Ug3, compreso nella fascia di profondità 10-30 m, mostra un valor medio dell'indice di Plasticità pari a 10,4 % (Figura 24); infine il Litotipo Ug4, mostra un valor medio dell'indice di Plasticità pari a 15,3 % (Figura 25). La differente componente argillosa presente nelle diverse unità geotecniche determina presumibilmente la differente risposta sperimentale.

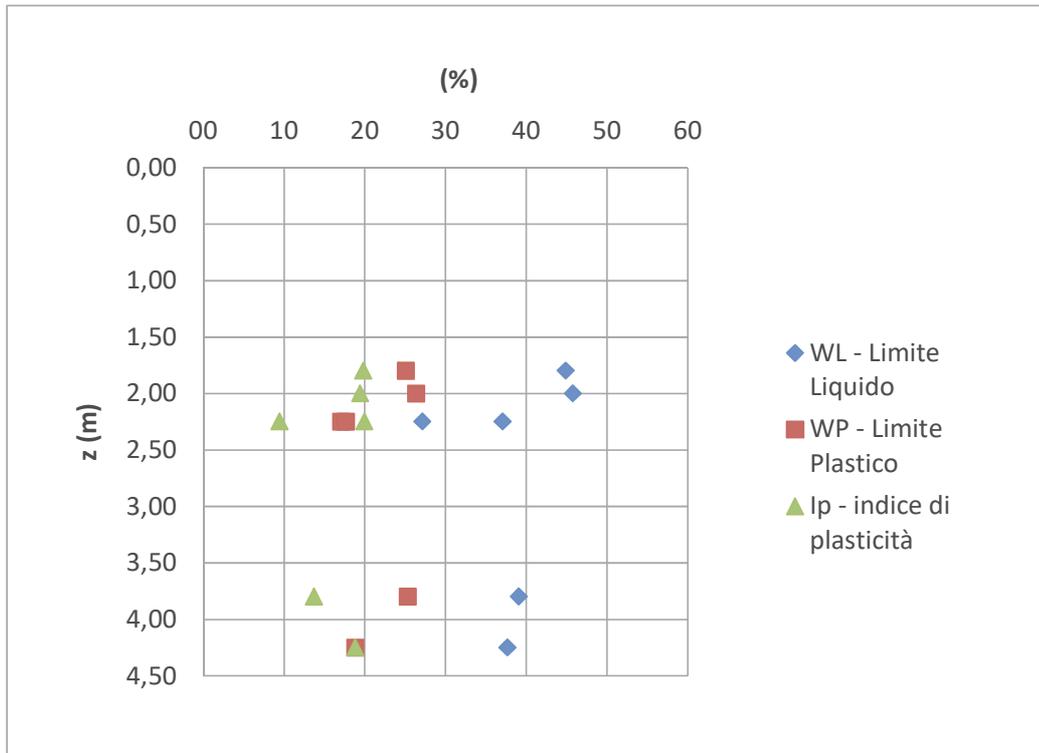


Figura 23: Variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per il litotipo Ug1

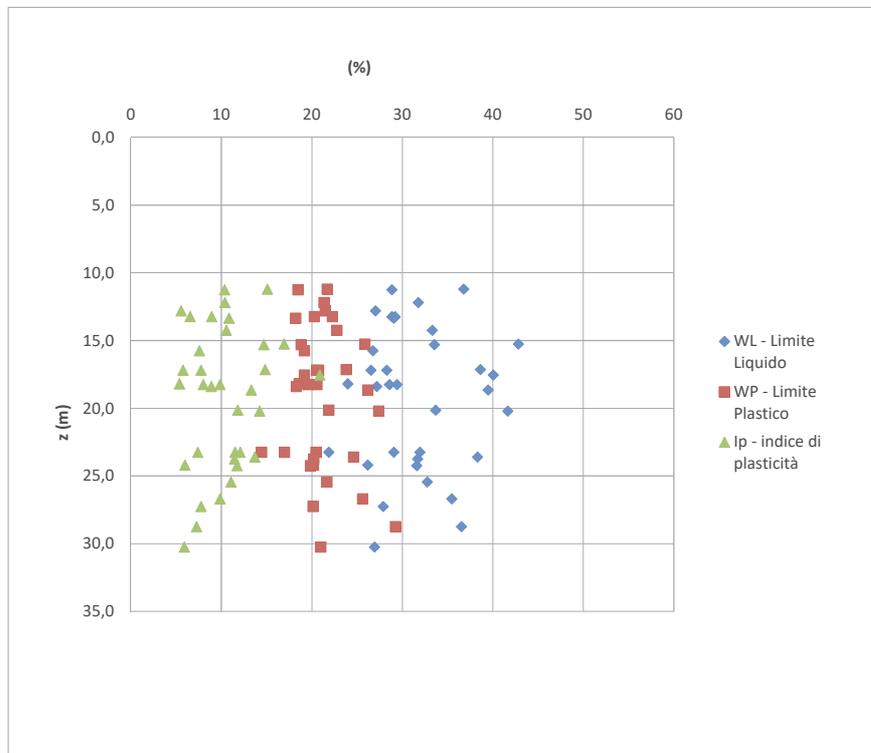


Figura 24: Variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per il litotipo Ug3

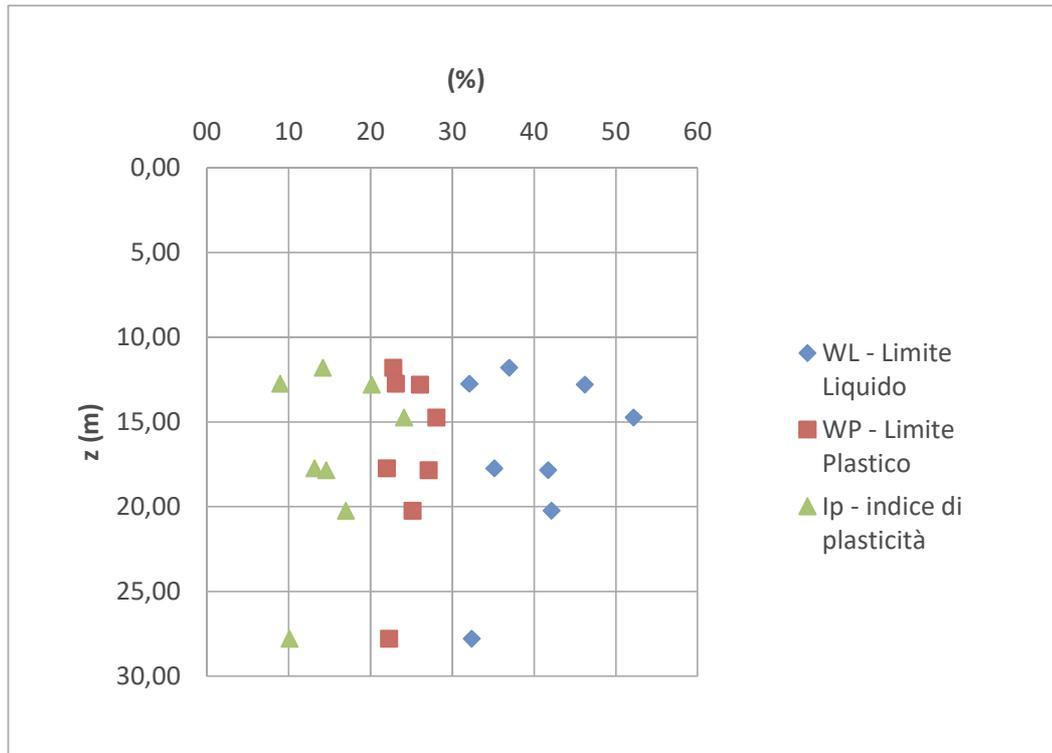


Figura 25: Variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per il litotipo Ug4

Ulteriori indicazioni sul comportamento dei materiali suddetti, si traggono rappresentando i punti sperimentali sulla Carta di Plasticità di Casagrande, come riportato in Figura 26, Figura 27 e Figura 28 rispettivamente per i litotipi Ug1, Ug3 e Ug4. Si osserva che tutti i materiali sono molto prossimi alla linea A, con contenuti a media e bassa plasticità. Le indicazioni della carta di Plasticità di Casagrande sono da ritenersi significative al fine di definire le caratteristiche di plasticità e compressibilità delle facies a grana fine di ciascuna unità geotecnica, ma non ai fini della definizione delle stesse unità. Pressocchè in tutte, diverse facies, granulari e coesive, coesistono in rapporti di potenza differenti.

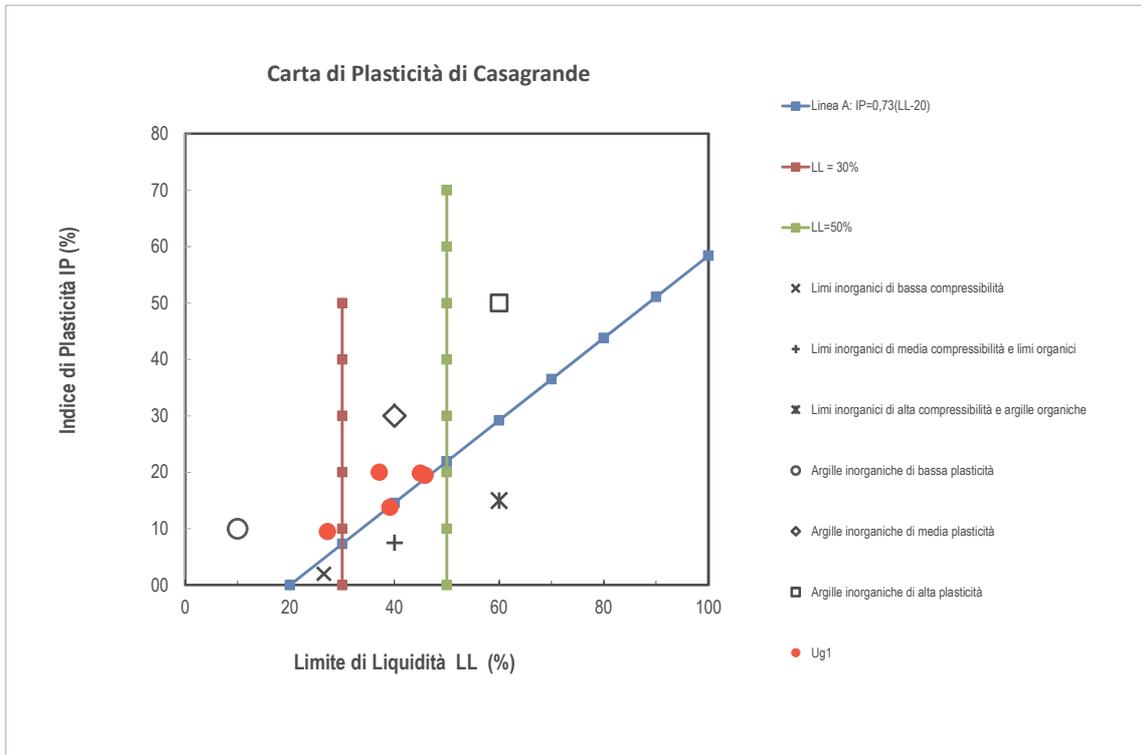


Figura 26: Carta di Plasticità di Casagrande per il litotipo Ug1

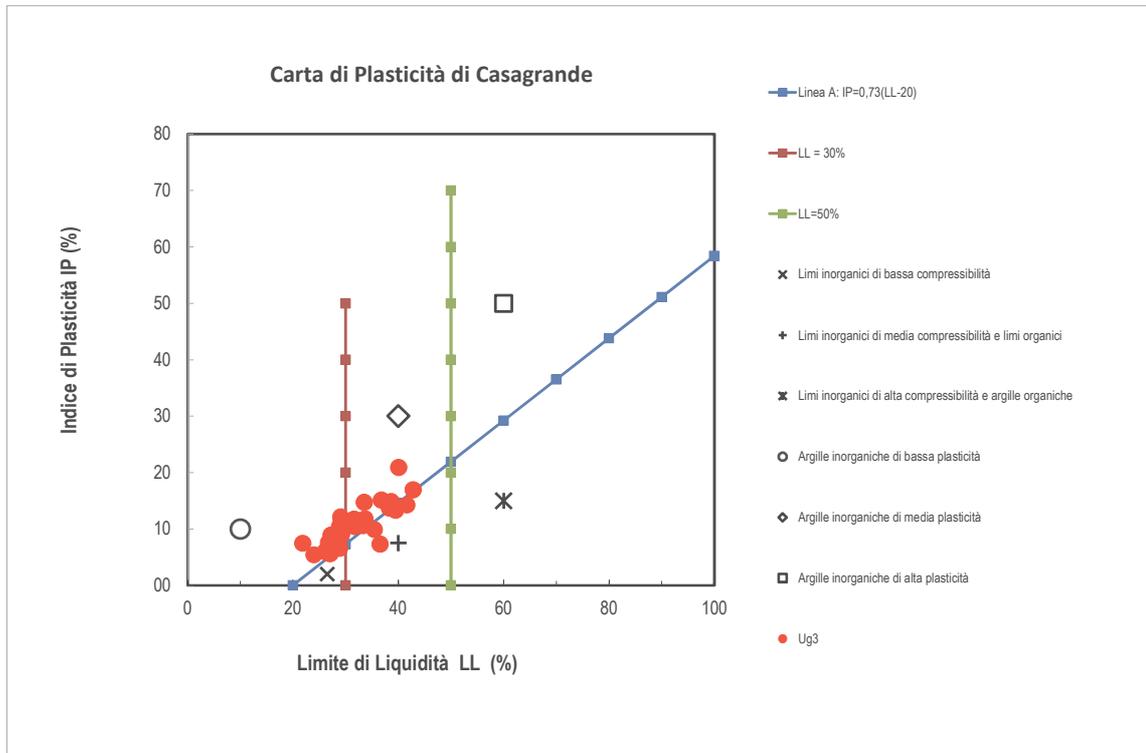


Figura 27: Carta di Plasticità di Casagrande per il litotipo Ug3

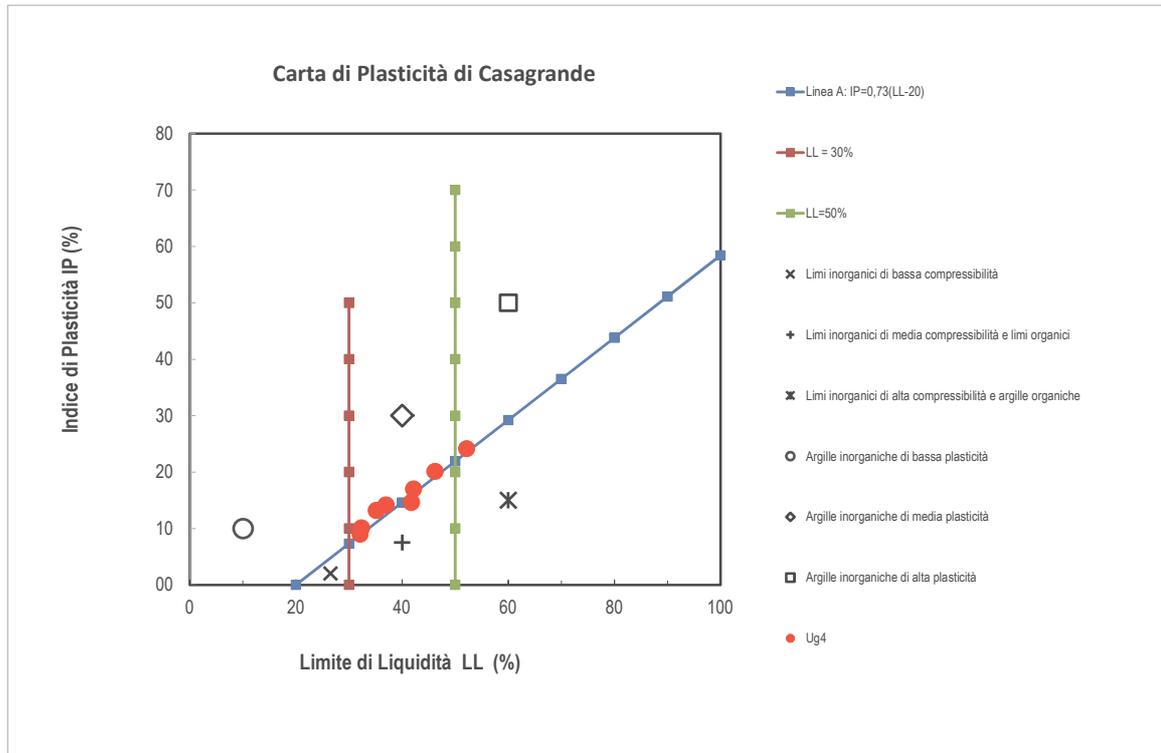


Figura 28: Carta di Plasticità di Casagrande per il litotipo Ug4.

Per ciò che attiene alle unità geotecniche in alveo del Fiume Sesia, e in aree immediatamente adiacenti, come si può osservare dai sondaggi S19, S21 e S22, successivamente integrati dai sondaggi Si1-DH e Si2, Si3 e Si4 si riscontra la presenza di diversi terreni, con granulometria mediamente decrescente con la profondità. Essenzialmente possiamo riconoscere:

- un primo strato di materiale prettamente di ghiaia e ciottoli, di origine alluvionale, la cui caratterizzazione è eseguita mediante prove in situ;
- un secondo strato di buona coesione prevalentemente costituito da materiali a grana fine;
- un terzo strato di materiale misto a grana fine ed a grana grossa in composizione equivalente e alternanza piuttosto regolare.

In Tabella 15 è riportata la suddivisione dei campioni dei litotipi appena citati, mentre in Tabella 16 è riportata la composizione granulometrica media. La classifica granulometrica dell'Unità Ug5 è attribuita sulla base dei sondaggi in assenza di granulometrie.

S21 C11	S21 C13	Si1DH C15
S22 DH CR2	S22 DH C12	Si2 C11
S23 C12	S23 C11	Si2 C12
Si1DH C13	S23 C13	Si2 C15
Si1DH C14	S24 PZ C11	Si3 C11
Si2 C14	S25 DH C11	Si3 C12
	Si4 C11	

Tabella 15: identificazione dei campioni utilizzati per la definizione dei litotipi omogenei Ug6 e Ug7.

Composizione Granulometrica Media				Sigla	Classifica Granulometrica	Colore
ghiaia	sabbia	limo	argilla			
(%)	(%)	(%)	(%)	(-)	(-)	(-)
-	-	-	-	Ug5	Ghiaia e ciottoli	
3,8	21,9	48,7	25,6	Ug6	Limo con argilla, sabbioso, debolmente ghiaioso	
12,4	47,7	28,2	11,7	Ug7	Sabbia con limo, ghiaiosa, argillosa	

Tabella 16: composizione granulometrica dei litotipi e relativa classificazione

L'elaborazione delle prove di classificazione e meccaniche sui campioni suddetti mostra i diagrammi riportati nelle figure successive. In Figura 29 ed in Figura 30 è riportata la variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo, per i litotipi citati in Tabella 16. In entrambe le figure citate si osserva che il valor medio del Peso dell'Unità di Volume naturale può essere assunto pari a 18,50 kN/m<sup>3</sup>, mentre il Peso dell'Unità di Volume Saturo può essere assunto pari a 19,00 kN/m<sup>3</sup>.

In Figura 31 in Figura 32 è riportata la variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per i litotipi citati in Tabella 16 aventi una componente coesiva. Si osserva che il Litotipo Ug6, mostra un valore dell'Indice di plasticità mediamente pari a 15,05 % (Figura 31), il Litotipo Ug7, mostra un valor medio dell'indice di Plasticità pari a 10,21 % (Figura 32); in entrambi i casi però, si può osservare una certa dispersione di valori.

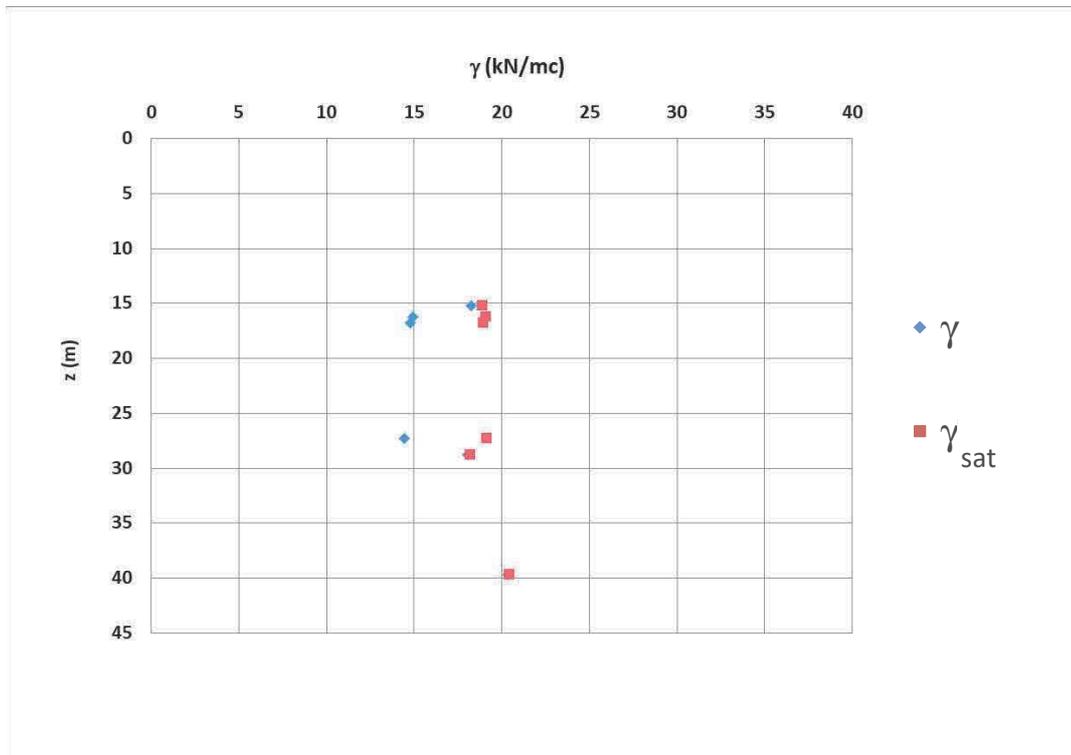


Figura 29: Variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo per il litotipo Ug6

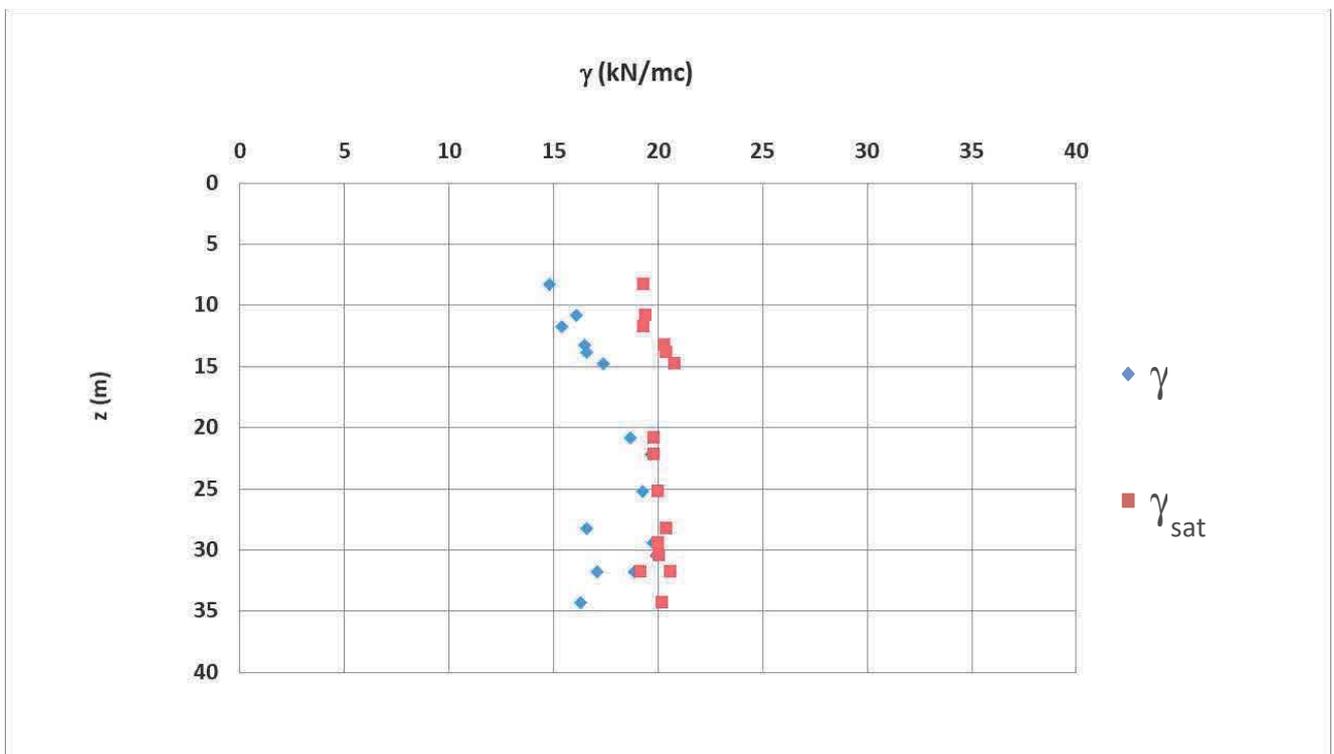


Figura 30: Variazione con la profondità del Peso dell'Unità di Volume Naturale e del Peso dell'Unità di Volume Saturo per il litotipo Ug7

Ulteriori indicazioni sul comportamento dei materiali suddetti, rappresentando i punti sperimentali sulla Carta di Plasticità di Casagrande, come riportato in Figura 33 e Figura 34, rispettivamente per i litotipi Ug6 e Ug7; qui si osserva che i provini ascritti ad Ug6 sono molto prossimi alla linea A, mentre in quelli ascritti a Ug7 è sensibile la componente limosa, sempre a media plasticità, per cui si trovano ben al di sotto della linea A.

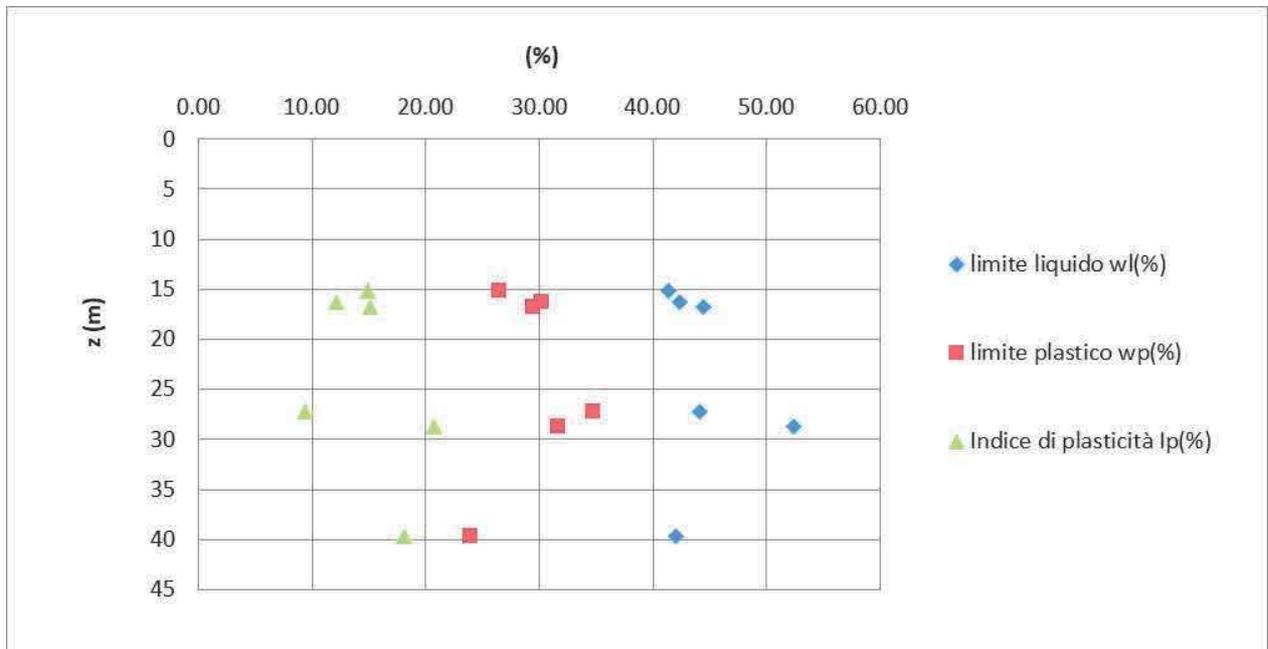


Figura 31: Variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per il litotipo Ug6.

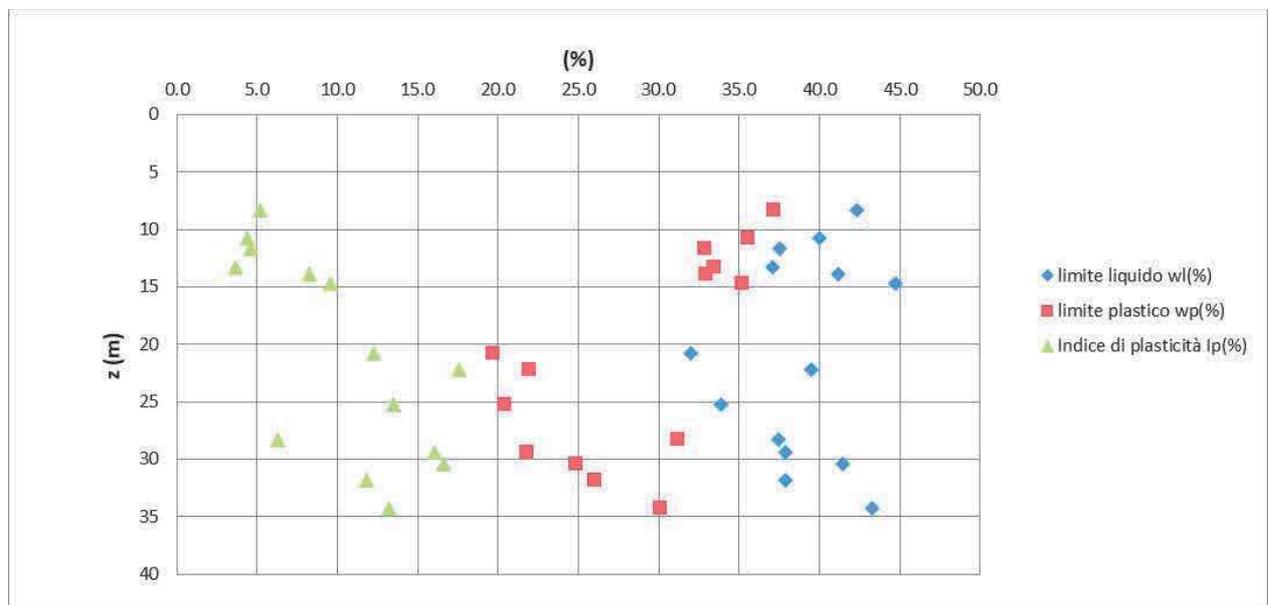


Figura 32: Variazione con la profondità dei Limiti di Atterberg e dell'Indice di Plasticità per il litotipo Ug7.

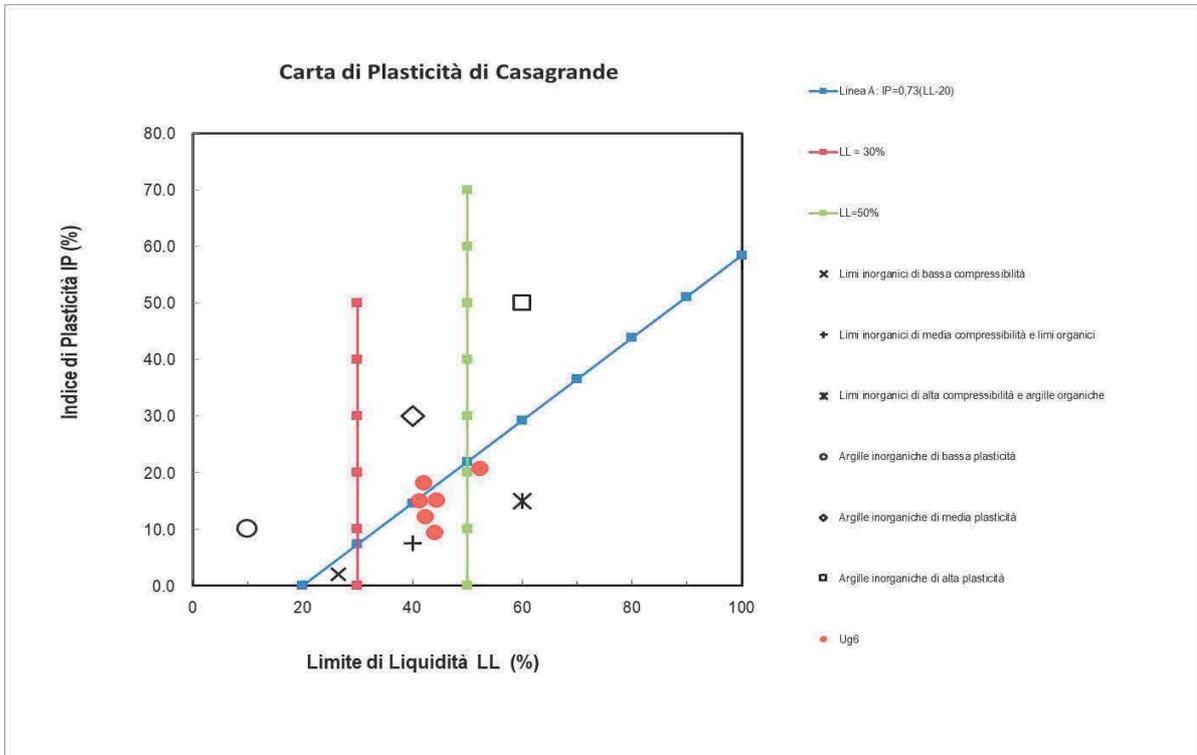


Figura 33: Carta di Plasticità di Casagrande per il litotipo Ug6.

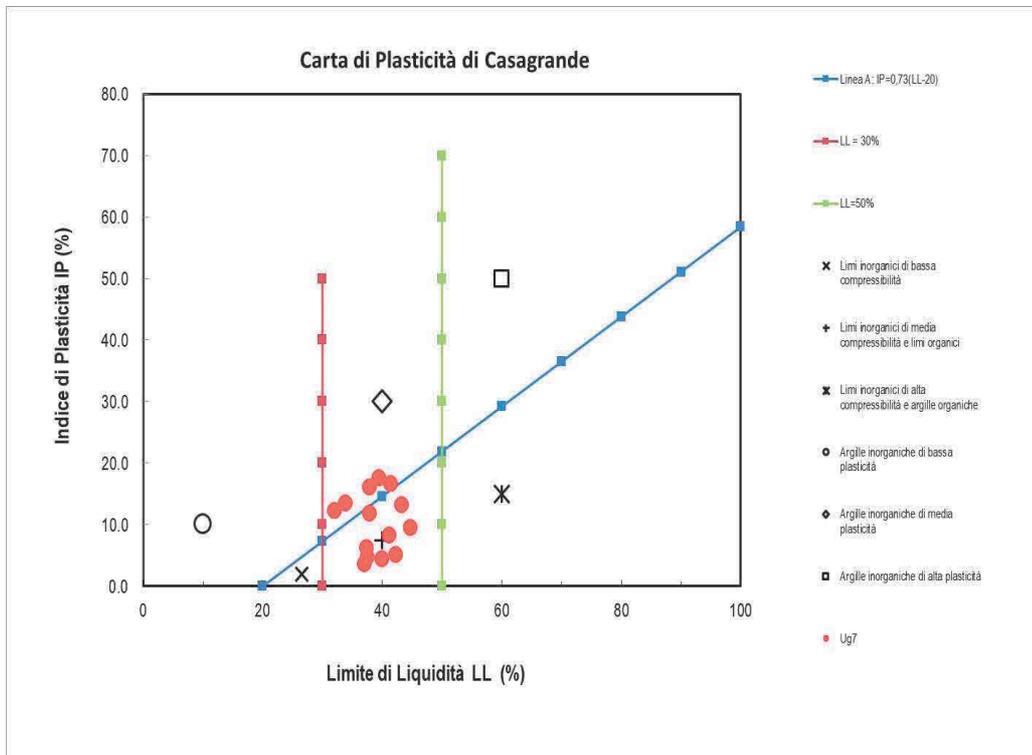


Figura 34: Carta di Plasticità di Casagrande per il litotipo Ug7.

➤ ***Deformabilità e resistenza al Taglio***

In base alle unità litostratigrafiche principali descritte nella Relazione Geologica, in base ai risultati delle prove in foro e all'analisi dei risultati delle prove di laboratorio, con particolare attenzione alle distribuzioni granulometriche, è stato possibile riconoscere nell'area di studio diverse unità geotecniche fondamentali. Si ricorda, come già espresso che la classificazione geotecnica assunta, è forzatamente una semplificazione dell'assetto litostratigrafico presente nell'area in esame, viste le numerose intercalazioni reciproche delle diverse facies.

Sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove di classificazione e identificazione dello stato fisico dei terreni. Le principali proprietà indice e le caratteristiche fisiche e di stato dei terreni investigati sono riportate in Tabella 4. In Tabella 13 è stato riportato l'insieme di campioni che hanno composizione granulometrica omogena, che viene discussa in Tabella 14, dove è riportata la composizione granulometrica media dei campioni suddetti, e la classifica secondo le Raccomandazioni AGI sulle prove di laboratorio (1977), laddove presenti analisi granulometriche.

In Figura 35, Figura 36 è riportata la variazione con la profondità della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio, misurate sia in prove di taglio diretto consolidate drenate (DS-CD) che in prove triassiali isotropicamente consolidate e drenate (Tx-CID), per il litotipo Ug1. Alla luce dell'andamento osservato nei diagrammi, possano essere assunti come parametri operativi di tale unità geotecnica i valori di  $c' = 5$  kPa e  $\phi' = 26^\circ$ .

In Figura 37 ed in Figura 38 è riportata la variazione con la profondità rispettivamente della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio, misurate sia in prove di taglio diretto consolidate drenate (DS-CD) che in prove triassiali consolidate drenate (Tx-CID), per il litotipo Ug3. Alla luce dell'andamento osservato nei diagrammi, possano essere assunti come parametri operativi di tale unità geotecnica i valori di  $c' = 0$  kPa e  $\phi' = 29^\circ$ .

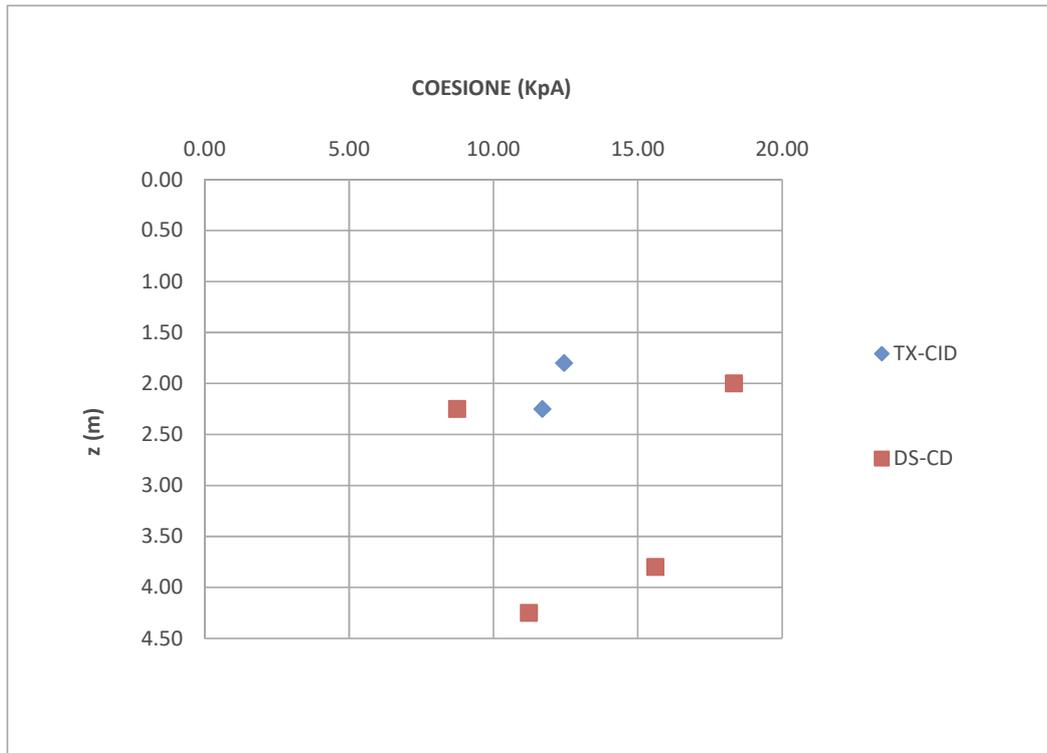


Figura 35: Variazione con la profondità della coesione per il litotipo Ug1

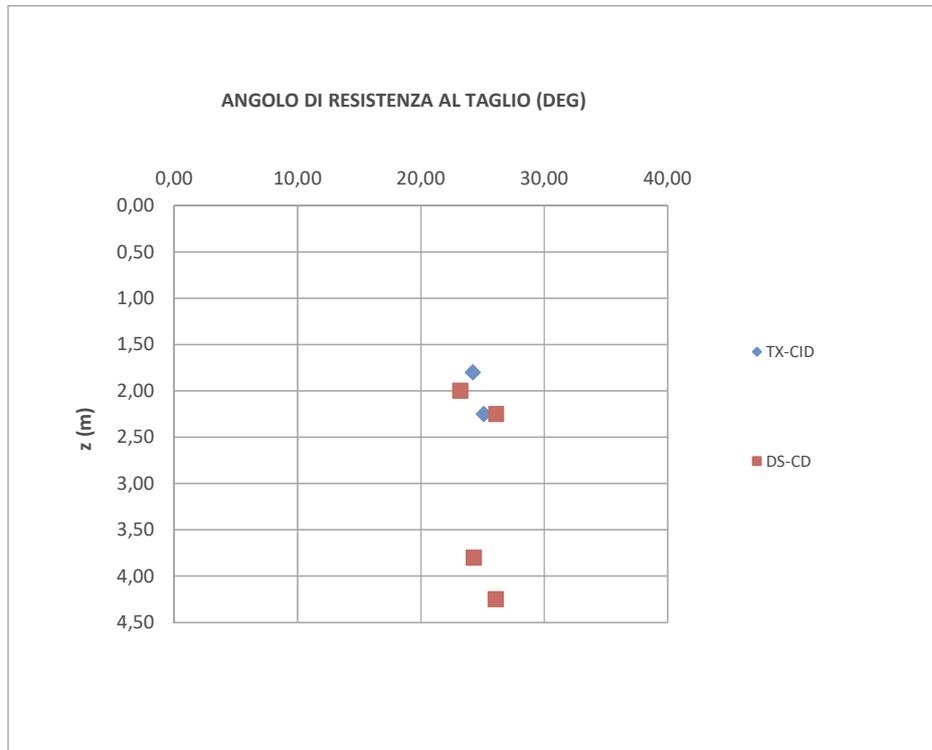


Figura 36: Variazione con la profondità dell'Angolo di Resistenza al taglio per il litotipo Ug1

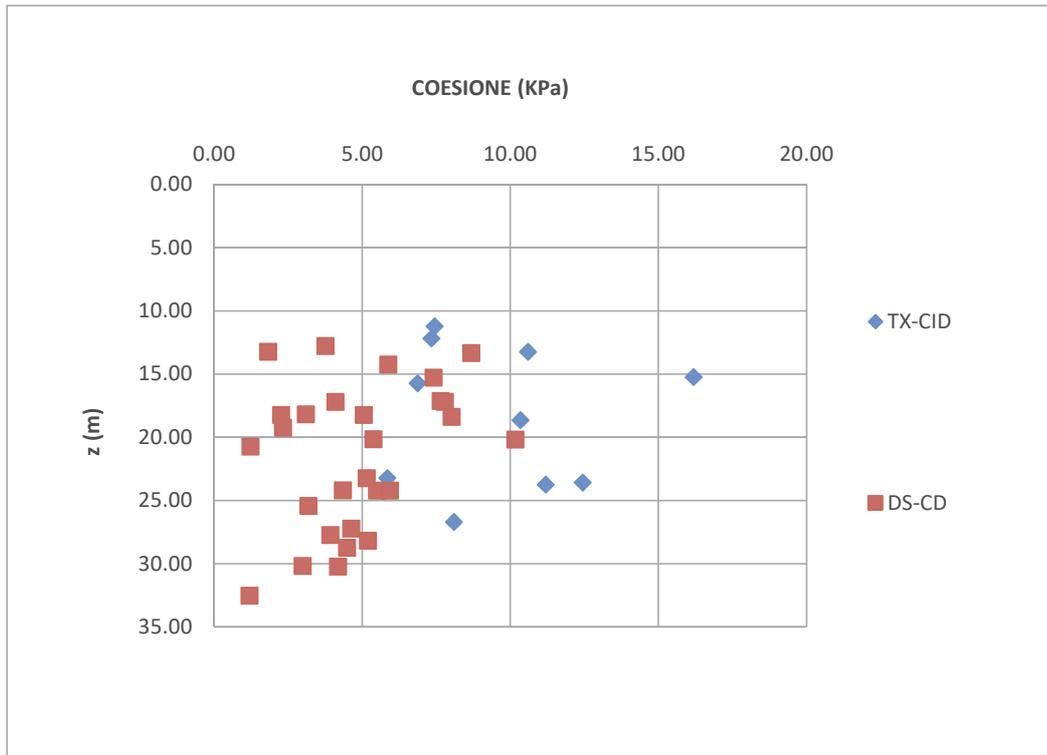


Figura 37: Variazione con la profondità della Coesione per il litotipo Ug3.

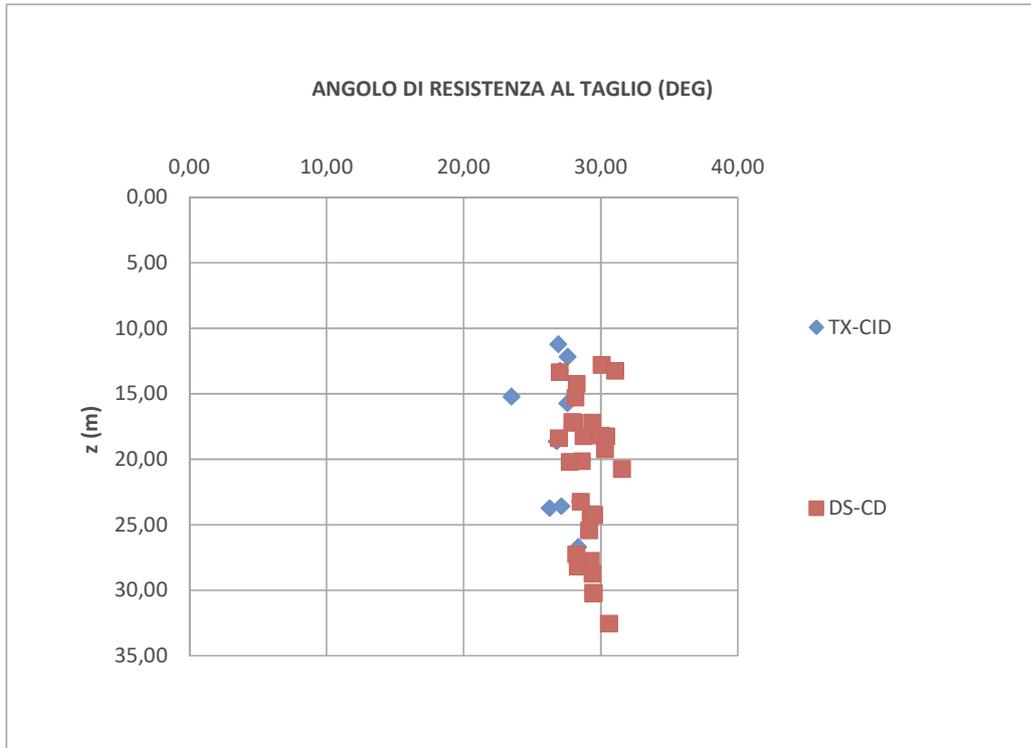


Figura 38: Variazione con la profondità dell'Angolo di Resistenza al taglio per il litotipo Ug3.

In Figura 39 ed in Figura 40 è riportata la variazione con la profondità rispettivamente della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio, misurate sia in prove di taglio diretto consolidate drenate (DS-CD) che in prove triassiali consolidate drenate (Tx-CID), per il litotipo Ug4. Alla luce dell'andamento osservato nei diagrammi, possano essere assunti come parametri operativi di tale unità geotecnica i valori di  $c' = 10$  kPa e  $\phi' = 27^\circ$ .

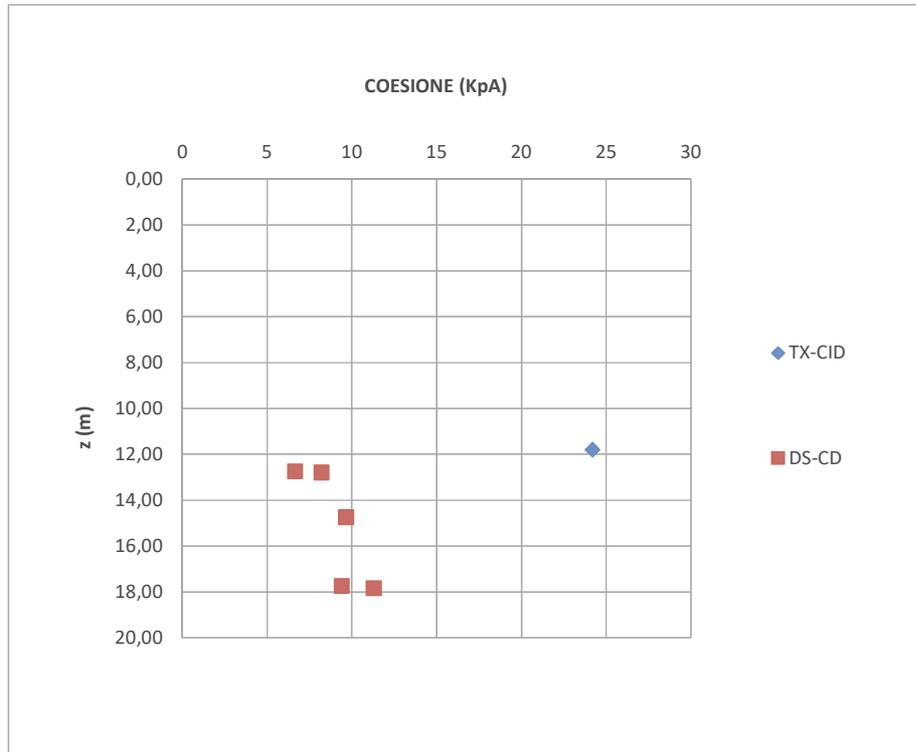


Figura 39: Variazione con la profondità della Coesione per il litotipo Ug4.

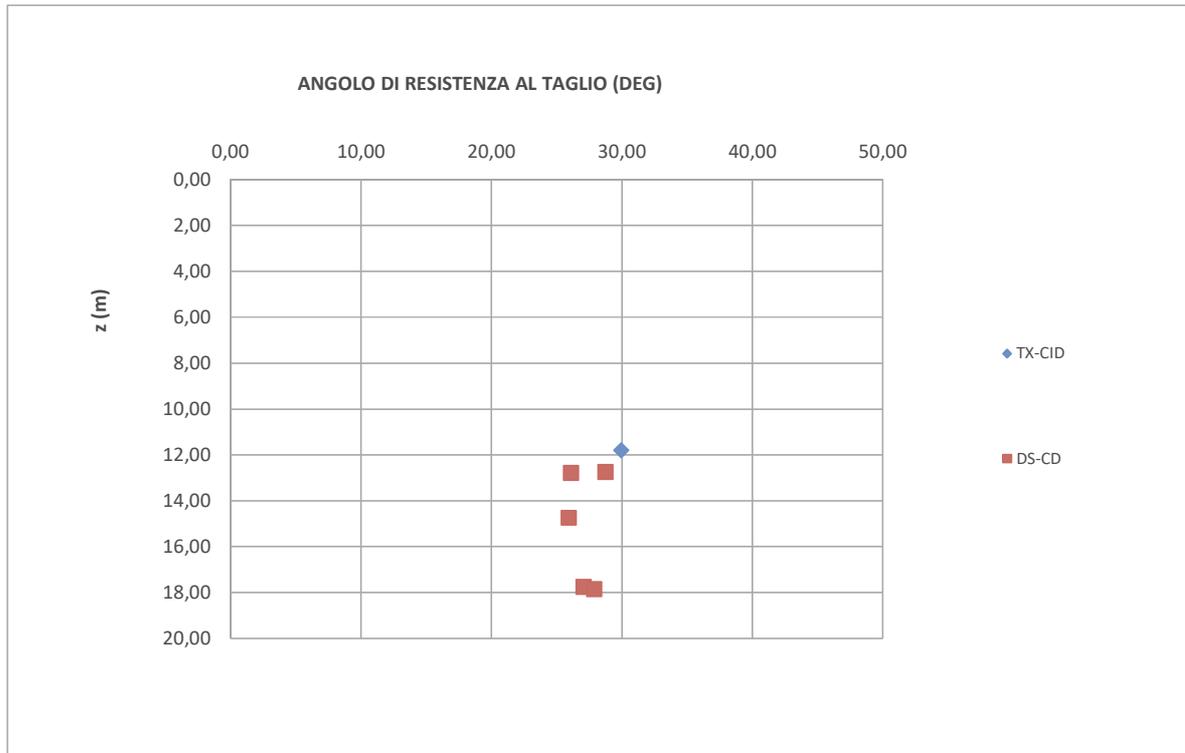


Figura 40: Variazione con la profondità dell'Angolo di Resistenza al taglio per il litotipo Ug4.

Per ciò che attiene alle unità geotecniche in alveo del Fiume Sesia, e in aree immediatamente adiacenti, come si può osservare dai sondaggi S19, S21, S22, Si1DH, Si2, Si3 e Si4 si riscontra la presenza di diversi terreni, con granulometria mediamente decrescente con la profondità come precedentemente descritto in Tabella 15 dove è riportata la suddivisione dei campioni dei litotipi appena citati, mentre in Tabella 16, è riportata la composizione granulometrica media. In Figura 41 è riportata la variazione con la profondità rispettivamente della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio, misurate in prove triassiali consolidate drenate (TX-CID), in prove di taglio diretto consolidate drenate (DS-CD), ed in prove triassiali consolidate drenate (Tx-CID), per il litotipo Ug6. In Figura 42 è riportato l'analogo diagramma per l'angolo di resistenza al taglio, in cui sono confrontati i valori misurati in prove di laboratorio (simboleggiati da un triangolo) con i valori desunti da prove SPT (simboleggiati da un quadrato), tramite le correlazioni utilizzate (Schmertmann, Japan Road Association e Peck - da cui si elabora come già espresso un unico valore, rappresentativo per ogni prova SPT). Si osserva, in quest'ultimo caso, un andamento dei dati piuttosto coerente, dove la resistenza del materiale al meccanismo di rottura per taglio generato in una prova di laboratorio, è evidentemente inferiore a quella espressa durante una prova penetrometrica: i valori di  $\phi'$  misurati in prove TX o DS sono inferiori a quelli provenienti da prove SPT. Alla luce di questo andamento, possano essere assunti come parametri operativi di tale unità geotecnica i valori di  $c' = 5$  kPa e  $\phi' = 26^\circ$ .

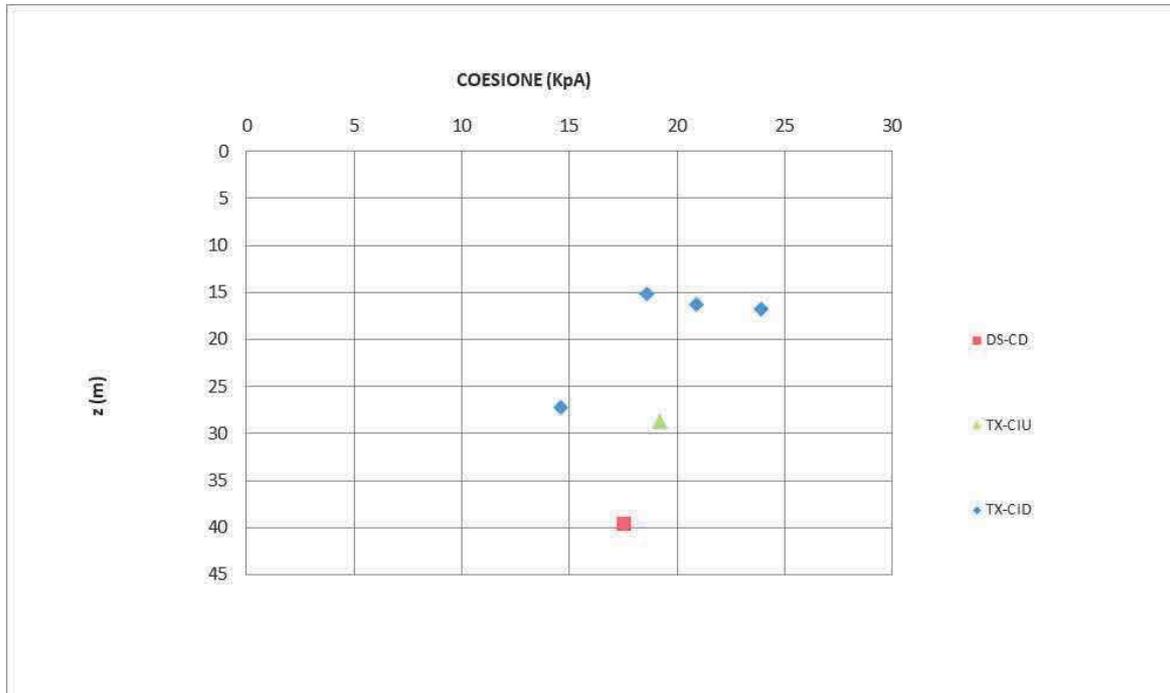


Figura 41: Variazione con la profondità della Coesione per il litotipo Ug6.

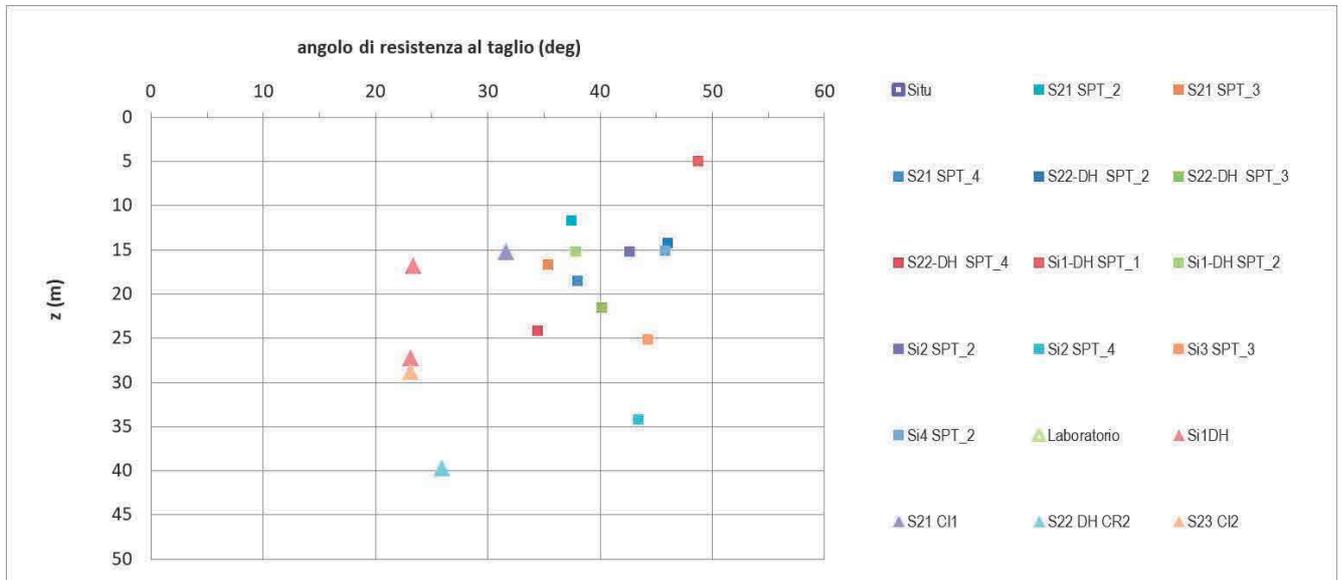


Figura 42: Variazione con la profondità dell'Angolo di Resistenza al taglio per il litotipo Ug6.

In Figura 43 ed in Figura 44 è riportata la variazione con la profondità rispettivamente della coesione e dell'angolo di resistenza al taglio, misurate sia in prove di laboratorio (taglio diretto consolidate drenate, DS-CD e prove triassiali consolidate drenate, Tx-CID, e consolidate non drenate TX-CIU), sia dall'elaborazione dei risultati delle prove SPT con le correlazioni di Schmertmann, Japan Road Association e Peck (da cui si elabora come già espresso un unico valore, rappresentativo per ogni prova), per il litotipo Ug7. E' evidente che la risposta sperimentale di questa unità geotecnica, in cui predomina solo leggermente la componente dei terreni a grana grana grossa, e quella a grana fine sfiora il 40%, è di tipo coesivo in laboratorio (prove DS e TX), mentre è di tipo non coesivo in situ (prove SPT). Alla luce dell'andamento osservato nei diagrammi, possono essere assunti come parametri operativi di tale unità geotecnica i valori di  $c' = 5$  kPa e  $\phi' = 33^\circ$ .

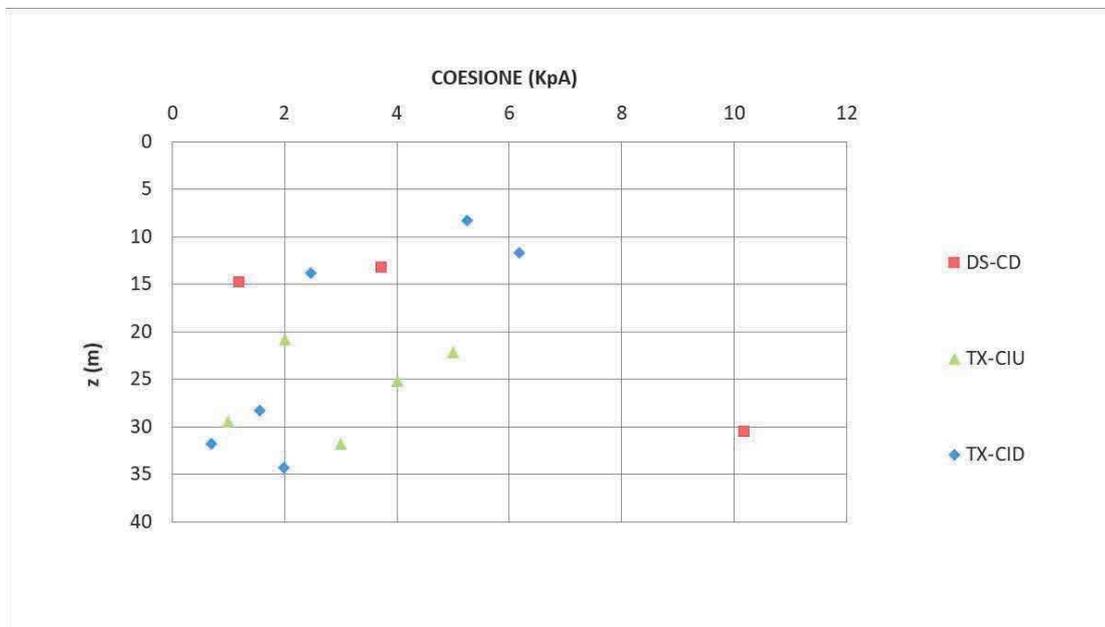


Figura 43: Variazione con la profondità della Coesione per il litotipo Ug7.

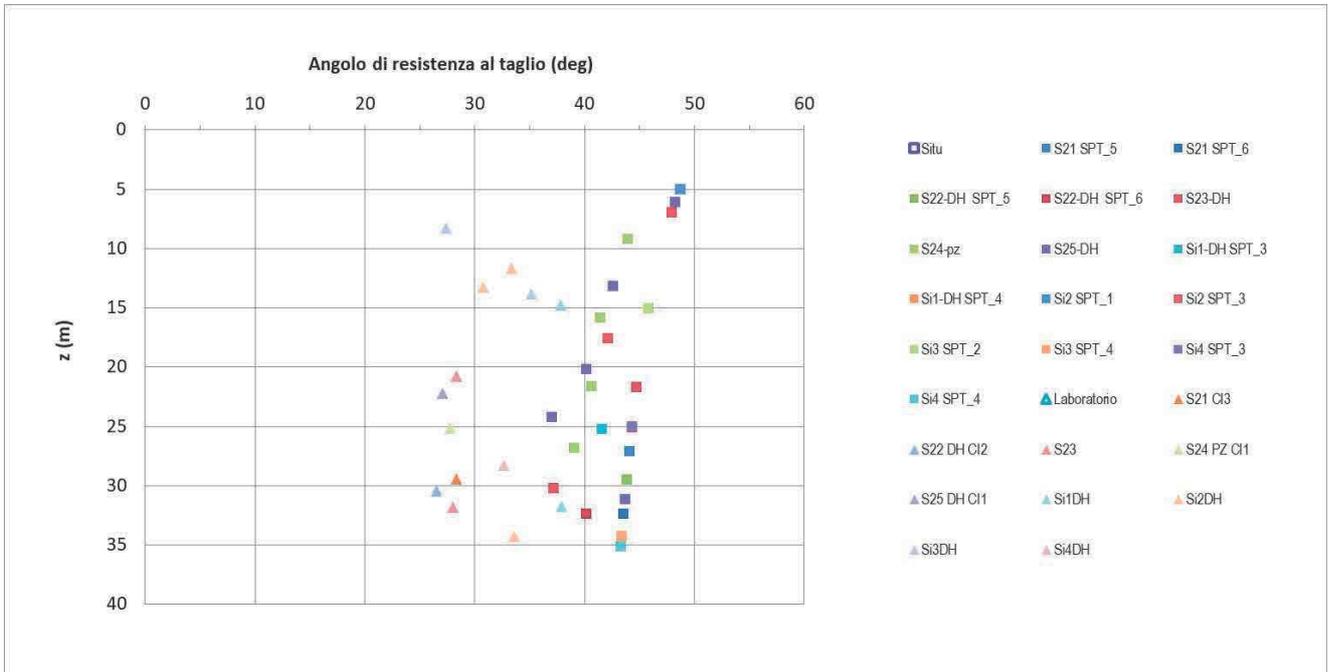


Figura 44: Variazione con la profondità dell'Angolo di Resistenza al taglio per il litotipo Ug7 da prove di laboratorio e da prove in situ (Prove da Sondaggi da S1iDH a S25, alle quote interessate dal litotipo in essere).

➤ **Consolidazione Edometrica**

Con riferimento alle prove edometriche, l'insieme delle prove svolte nella campagna ANAS 2017, è riportato in Tabella 17 assieme con il livello di falda, ed il grado di sovraconsolidazione, il coefficiente di compressibilità  $C_c$  ed il coefficiente di consolidazione primaria  $C_v$  (Metodo di Taylor).

Litotipo	Quota Falda	campione	prof. media	$\sigma'v$	$(\sigma'p)_{min}$	$(\sigma'p)_{max}$	OCR <sub>min</sub>	OCR <sub>max</sub>	$C_c$	$C_v$
(-)	(m)	(-)	(m)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(-)	(-)	(-)	(-)
Ug3	35,0	S1 DH CI1	4,25	85,00	107	277	1,25	3,26	0,1528	1,48E-05
Ug1	4,0	S8 DH CI1	3,80	76,00	225	555	2,97	7,30	0,1830	1,72E-05
Ug3	8,0	S5PZ CI1	2,25	45,00	284	785	6,32	17,45	0,1609	2,26E-05
Ug3	6,3	S6DH CI1	2,25	45,00	91	277	2,03	6,16	0,1468	2,96E-05
Ug3	5,7	S9DH CI1	2,20	44,00	202	555	4,59	12,61	0,1468	1,16E-05
Ug3	5,7	S9DH CI3	17,20	229,00	125	555	0,55	2,42	0,2184	1,16E-05
Ug3	7,0	S10PZ CI2	18,20	252,00	212	555	0,84	2,20	0,3596	2,90E-05
Ug1	13,7	S14PZ CI1	2,00	156,50	226	555	1,45	3,54	0,0595	2,09E-05
Ug1	12,0	S15PZ CI1	2,65	53,00	178	393	3,36	7,41	0,4008	1,24E-05
Ug3	12,0	S15PZ CI2	14,55	265,50	195	555	0,73	2,09	0,4174	1,24E-05
Ug3	12,0	S15PZ CI3	18,40	304,00	218	785	0,72	2,58	0,4174	1,24E-05
LSA	11,5	S16DH CI1	3,75	75,00	250	785	3,33	10,47	0,1624	2,33E-05
Ug6	3,1	S21 CI1	15,20	183,00	173	393	0,95	2,15	0,2075	1,72E-05
Ug6	3,1	S21 CI2	24,45	275,50	148	393	0,54	1,43	0,2178	1,72E-05
Ug3	5,4	S17 DH CI1	11,80	172,00	115	393	0,67	2,28	0,2282	1,71E-05

Tabella 17: elaborazione dati da prove edometriche (campagna ANAS 2017)

Come si osserva, a titolo di esempio, in Figura 45 ed in figura Figura 46, le curve edometriche dei materiali in posto, spesso non presentano una zona di snervamento ben definita (per le singole curve di prova si rimanda agli elaborati contenenti i certificati delle prove di laboratorio). Pertanto, non essendo di agevole applicazione il metodo di Casagrande per la determinazione della pressione di preconsolidazione, è stato calcolato l'intervallo di variazione di quest'ultima (valori massimo e minimo), quindi il relativo intervallo di variazione del grado di sovraconsolidazione. Tali valori di OCR sono diagrammati per tutte le prove disponibili in Figura 47, dove si osserva che, eccetto il banco superficiale dell'Ug1, il tracciato stradale si snoda lungo un sito fondale caratterizzato dalla presenza di materiali, dotati di componente coesiva, normalconsolidati. Per l'Ug1, le cause di preconsolidazione potrebbero essere attribuite anche a fattori antropici, e gli elevati valori di OCR sono certamente favoriti dalle basse pressioni litostatiche di confinamento. Ad ogni buon fine, nei stime dei cedimenti, a vantaggio di sicurezza, è stato considerato sempre il grado di OCR minimo.

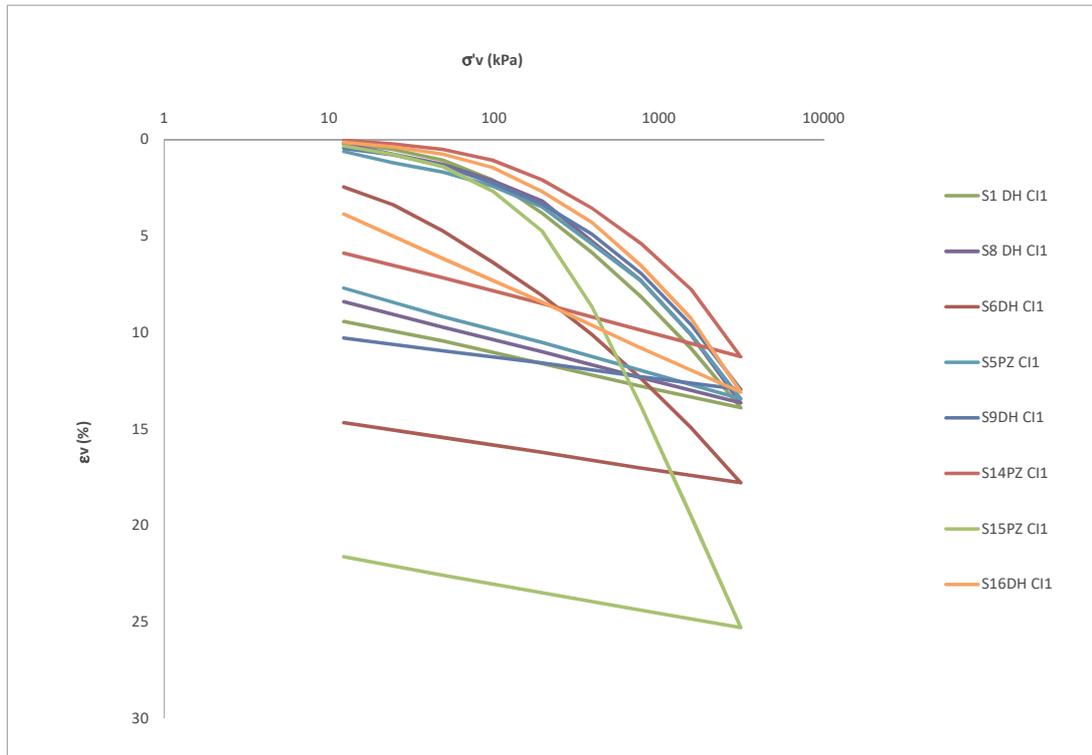


Figura 45: curve edometriche di provini prelevati a profondità inferiore a 5 m da p.c.

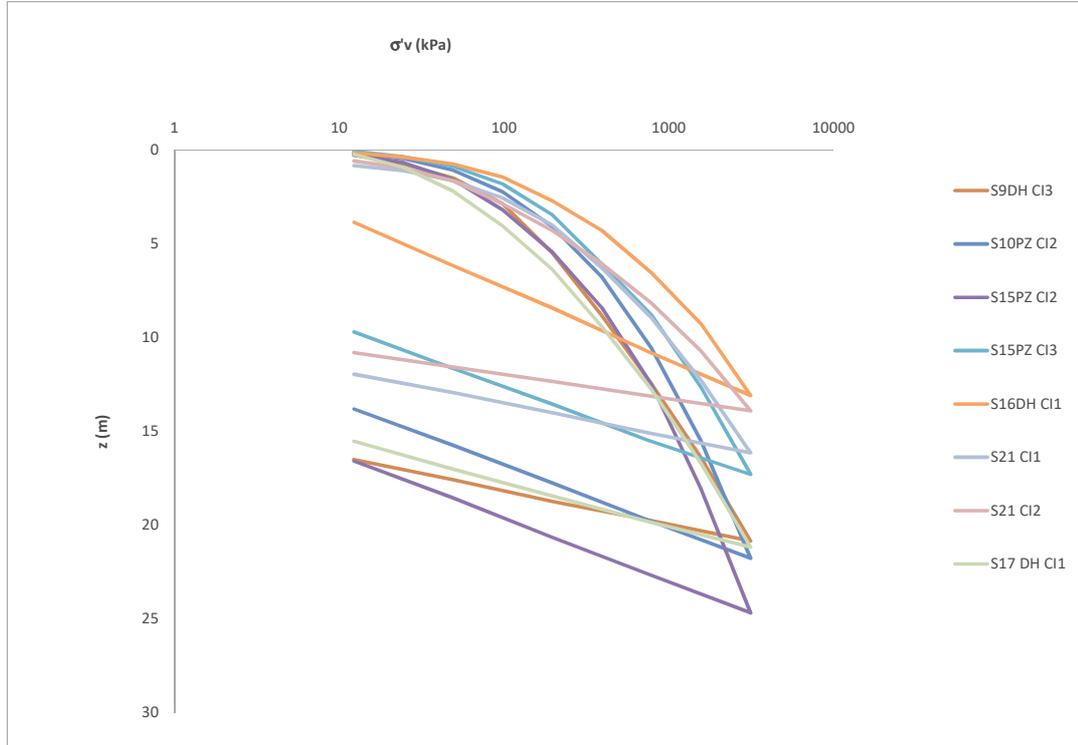


Figura 46: curve edometriche di provini prelevati a profondità superiore a 5 m da p.c.

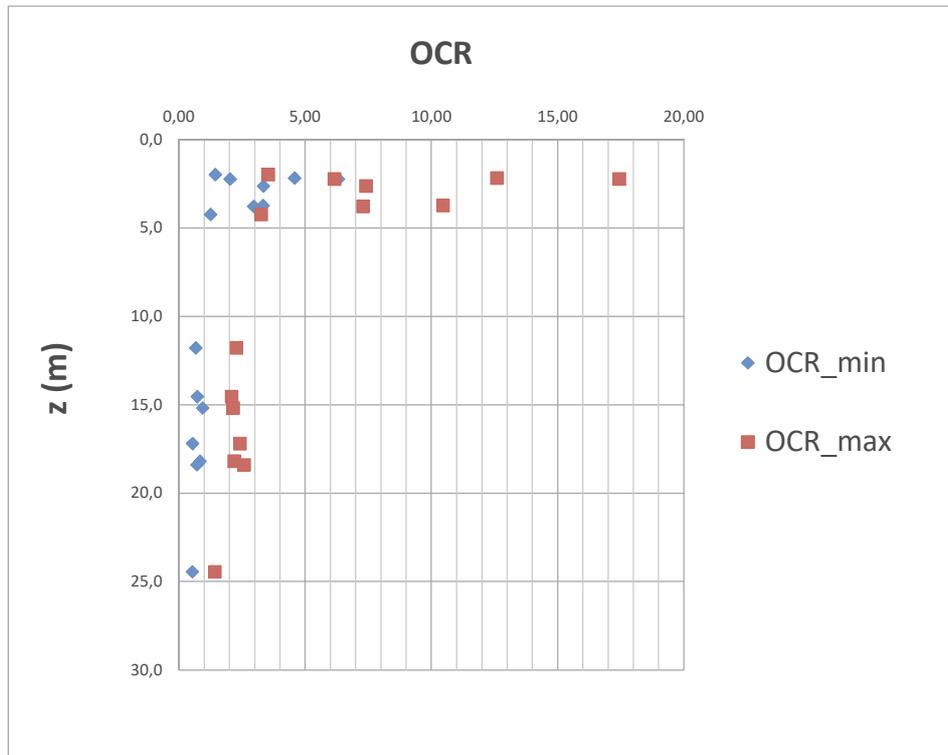


Figura 47: variazione con la profondità del grado di sovraconsolidazione per ogni prova edometrica della campagna ANAS 2017.

Stante la variazione del modulo edometrico con il livello tensionale, questo non viene caratterizzato in questa sede per ogni prova in modo univoco, rimandando alle relazioni delle singole opere in cui è espresso il calcolo del cedimento edometrico, noto lo stato di sforzo di esercizio, tuttavia si mostra in Figura 48 l'andamento da cui si evince che alle pressioni efficaci di interesse (generalmente per le opere in progetto non superiori a tensioni efficaci del valore di 500 kPa) il valore utilizzato è sempre compreso nella fascia tra 5 e 15 MPa circa.

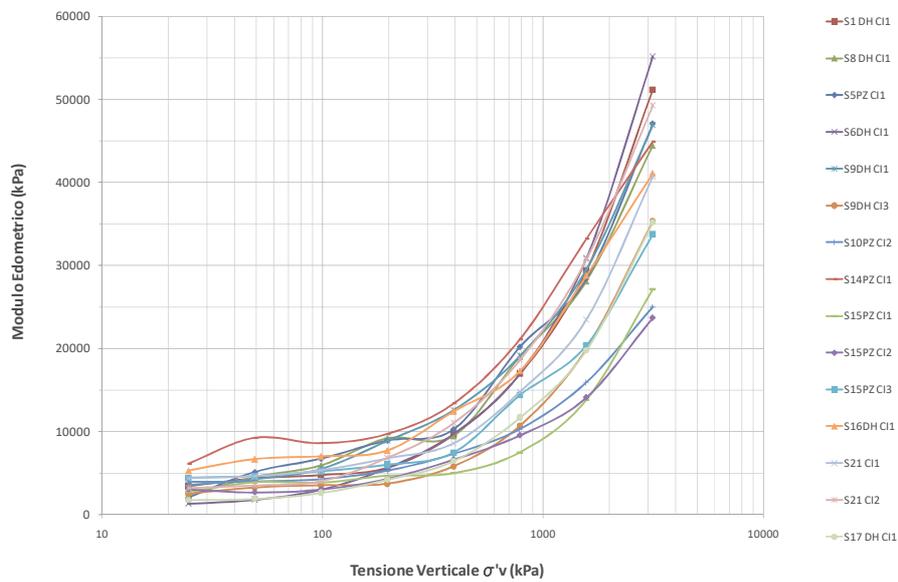


Figura 48: variazione del modulo edometrico con il livello tensionale per le prove udometriche della campagna ANAS 2017.

## 8. MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO

Le conoscenze acquisite sulla base dei risultati delle indagini eseguite nell'area oggetto di studio hanno consentito di delineare un quadro soddisfacente della stratigrafia e delle caratteristiche geotecniche dei litotipi individuati, da cui sono stati ricavati i parametri fisici e meccanici del modello di sottosuolo in campo statico. Al termine del presente paragrafo sono sintetizzate le caratteristiche meccaniche principali dei diversi litotipi che interagiscono con le opere in progetto.

I materiali dei terreni di riporto, concentrati in spessori modesti, a tratti discontinui e saltuari lungo il tracciato, nei casi significativi eliminati dalla bonifica, non hanno interazione diretta con le opere medesime e, pertanto, non sono presi in conto nella presente caratterizzazione.

L'omogeneità dei risultati riscontrata nelle indagini sperimentali eseguite, conferma le indicazioni del modello geologico contribuendo a definire la litologia adottata in fase di calcolo, che si ripropone in Tabella 10, Tabella 11 e Tabella 12. Come si può osservare, in queste tabelle, l'interpretazione dei sondaggi può essere condensata distinguendo 7 Unità Geotecniche fondamentali la cui identificazione e caratterizzazione viene di seguito definita in Tabella 18 alla luce delle elaborazioni ed interpretazioni documentate nei paragrafi precedenti.

Sigla	Classifica Granulometrica	Colore	$\gamma$	$\gamma_s$	$c'$	$\phi'$	$E'$
(-)	(-)	(-)	(kN/m <sup>3</sup> )	(kN/m <sup>3</sup> )	(kPa)	(deg)	(MPa)
Ug1	Limo con sabbia, argilloso, debolmente ghiaioso		19,50	20,00	5,00	26,00	20
Ug2	Sabbia con ghiaia, debolmente limosa, debolmente argillosa		19,50	20,00	0,00	36,00	30
Ug3	Sabbia con limo, debolmente argillosa, debolmente ghiaiosa		19,00	20,00	0,00	29,00	30
Ug4	Sabbia con limo, argillosa, debolmente ghiaiosa		19,00	19,50	5,00	27,00	40
Ug5	Ghiaia e ciottoli		19,00	19,00	0,00	37,00	55
Ug6	Limo con argilla, sabbioso, debolmente ghiaioso		18,50	19,00	18,00	26,00	30
Ug7	Sabbia, con limo, argillosa, ghiaiosa		18,50	19,00	5,00	33,00	40

Tabella 18: unità geotecniche di riferimento e relativi parametri caratteristici

## **9. SISMICITA'**

Si rimanda alla Relazione Sismica allegata al progetto ed alla Planimetria di Classificazione sismica del Territorio.

## 10. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stata affrontata la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere insistenti sul tracciato in progetto del Collegamento tra l'A4 (Torino-Milano) in località Santhià, Biella, Gattinara e l'A26 (Genova Voltri-Gravellona) in località Ghemme. Lotto 1.

Il territorio attraversato è caratterizzato da estese aree pianeggianti o poco acclivi localizzate unicamente lungo i fondovalle principali dei torrenti o fiumi. L'area interessata dal progetto insiste pertanto sui depositi fluviali, fluvioglaciali e glaciali del quaternario, sia di età pleistocenica, che di età olocenica (alluvioni antiche, recenti ed attuali dei principali corsi d'acqua), che influenzano il modello evolutivo del tratto di pianura.

L'interpretazione dei dati sperimentali provenienti dalle diverse campagne geognostiche, ha portato al riconoscimento di 7 Unità Geotecniche fondamentali, dove si riconosce la presenza di litotipi completamente granulari e ghiaiosi, per lo più prossimi ad alveo fluviale, e litotipi in cui la componente granulare, è immersa in una matrice limo-argillosa.

La distinzione delle Ug è stata eseguita seguendo tre criteri:

- composizione granulometrica: per cui sia nella presente relazione, ne è rappresentata la classifica granulometrica attribuita sulla base della composizione media;
- risposta sperimentale: per ciò che attiene alla determinazione delle proprietà meccaniche, di deformabilità e resistenza al taglio, si è fatto riferimento a terreni dalla risposta relativamente omogenea;
- ubicazione: all'interno di un quadro geologico, caratterizzato per lo più da una logica deposizionale, si osserva una distribuzione della potenza degli strati piuttosto costante.

Benchè in alcune unità geotecniche convivano diverse facies, il carattere proprio di ciascuna è definito in base alla risposta sperimentale della facies dominante. Altresì, i parametri caratteristici sono definiti anche in relazione al meccanismo attritivo e/o di rottura con le fondazioni che ospitano.

La distribuzione areale delle diverse Ug definite nella presente relazione trova riscontro grafico nell'elaborato di Profilo Geotecnico. Tutte le opere d'arte avranno una relazione di calcolo specifica incluso il rilevato stradale. La dinamica dei terreni di progetto è invece trattata negli elaborati Relazione Sismica e Planimetria di Classificazione Sismica del Territorio.

Stante quanto eseguito, in vista di opere di particolare rilievo come il Viadotto Sesia, già in questa fase di progettazione definitiva i dati sperimentali sono stati ampliati con una campagna di indagini geognostiche integrative Anas 2018, descritta agli elaborati "Relazione sulle Indagini Geognostiche Integrative in Alveo Fiume Sesia" e "Planimetria di Ubicazione delle Indagini Geognostiche Integrative in Alveo Fiume Sesia" (cod. T00GE00GETRE04\_A e T00GE00GETPU01\_A), nonché dall'elaborato riportate gli esiti delle prove. Le elaborazioni dei dati sono stati elaborati nella Rev. B della presente relazione.