

S.S. 38 "DELLO STELVIO"

LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA"
E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI
SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO

CODICE SIL: NOMSMI01069

PROGETTO DEFINITIVO

COD. SIL
NOMSMI01069

**PROGETTISTA E RESPONSABILE INTEGRATORE
PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE**

Ing. M. RASIMELLI
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A632

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

Ing. D. BONADIES Ing. M. PROCACCI
Ing. N. ARCELLI Ing. R. CERQUIGLINI
Ing. S. PELLEGRINI Ing. M. CARAFFINI
Ing. R. CERQUIGLINI Ing. R. ALUIGI
Ing. A. POLLI Geom. M. BINAGLIA
Ing. M. MARELLI
Ing. A. LUCIA

L'ARCHEOLOGO

Dott. M. MENICHINI
Elenco Ministero per i Beni Culturali al n° 2160 dal 18 05 2022

IL GEOLOGO

Dott. S. PIAZZOLI

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

Ing. L. IOVINE

RUP

Ing. P. GUALANDI

DEC

Ing. E. FIORENZA

PROTOCOLLO

DATA:

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:



MANDATARIA



PINI GROUP SA
Via Bivio 7 - 4801 Lugano - Svizzera
PINI GROUP Srl
Via Cassini 2 - 10124 Lancia - 0109 - Italia

MANDANTE

RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	PAG.
PROGETTO LIV. PROG. N. PROG. M S M I 0 9 P 2 1 0 2		T00_GE00_GET_RE01_B			
CODICE ELAB. T 0 0 E G 0 0 G E N R E 0 1				B	1 di 90
D	QUARTA EMISSIONE	MAGGIO 2023	RUSSO	ARCELLI	RASIMELLI
B	SECONDA EMISSIONE	AGOSTO 2022	RUSSO	ARCELLI	RASIMELLI
A	PRIMA EMISSIONE	APRILE 2022	RUSSO	ARCELLI	RASIMELLI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 2 di 89</p>
--	---

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA	6
4.1	CARATTERI GEOLITOLOGICI	6
4.2	CARATTERI GEOMORFOLOGICI	8
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
5.1	CAMPAGNA DI GEOGNOSTICHE	12
5.2	CAMPAGNA DI GEOGNOSTICHE	14
5.3	SUPERFICIE PIEZOMETRICA	15
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	16
6.1	PROVE IN SITU	16
	6.1.1 <i>Prove penetrometriche SPT e DPSH</i>	16
	6.1.2 <i>Indagini geofisiche</i>	59
	6.1.3 <i>Prove di carico su piastra</i>	63
6.2	PROVE DI LABORATORIO	69
6.3	CARATTERIZZAZIONE DELL'AMMASSO	74
6.4	SISMICITÀ DELL'AREA	81
7	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	83
8	COSTANTE DI SOTTOFONDO	84
9	BONIFICA DEL PIANO DI POSA	87

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 3 di 89</p>
--	---

1 PREMESSA

La presente relazione si propone di illustrare le analisi e le conclusioni dello studio geotecnico riguardante l'intervento di adeguamento della S.S. n.38 "dello Stelvio" riguardanti la realizzazione di un nuovo svincolo a livelli sfalsati denominato "Sassella".

Il viadotto in oggetto è inserito nel progetto di adeguamento della strada statale ed è stato concepito in modo da ospitare un'adeguata sede della strada e garantire allo stesso tempo un'altezza netta rispetto ai percorsi sottostanti di almeno 5.00 m.

Nell'ambito del presente documento, in particolare finalizzato a caratterizzare ed inquadrare da un punto di vista generale gli aspetti ed i problemi geotecnici, vengono affrontati i seguenti temi:

- descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche esperite disponibili dai precedenti livelli di progettazione e di quelle integrate nell'ambito della corrente fase progettuale;
- analisi ed interpretazione delle indagini;
- caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni e definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici;
- modelli geotecnici di sottosuolo

Le analisi svolte per la verifica della sicurezza e delle prestazioni del sistema costruzione-terreno, l'identificazione dei relativi stati limite, gli approcci progettuali ed i valori di progetto dei parametri geotecnici sono oggetto di specifici elaborati allegati al Progetto, ai quali si rimanda per eventuali approfondimenti.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 4 di 89</p>
--	---

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione e la modellazione geotecnica sono stati eseguiti secondo le seguenti norme e leggi:

- DM 17.01.2018 – Norme tecniche per le costruzioni.
- CIRCOLARE n.7 C.S.LL.PP. del 21.01.2019 – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 5 di 89</p>
--	---

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

CODIFICA FILE	TITOLO ELABORATO	SCALA
T00_GE00_GEO_RE01	Relazione geologica	-
T00_GE00_GEO_CG01	Carta geologica generale - Tav. 1 di 2	1:1.000
T00_GE00_GEO_FG01	Profilo geologico	1:1.000/1:100

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSAI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 6 di 89</p>
---	---

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA

4.1 Caratteri geolitologici

Di seguito si riporta il Foglio 056 "Sondrio" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

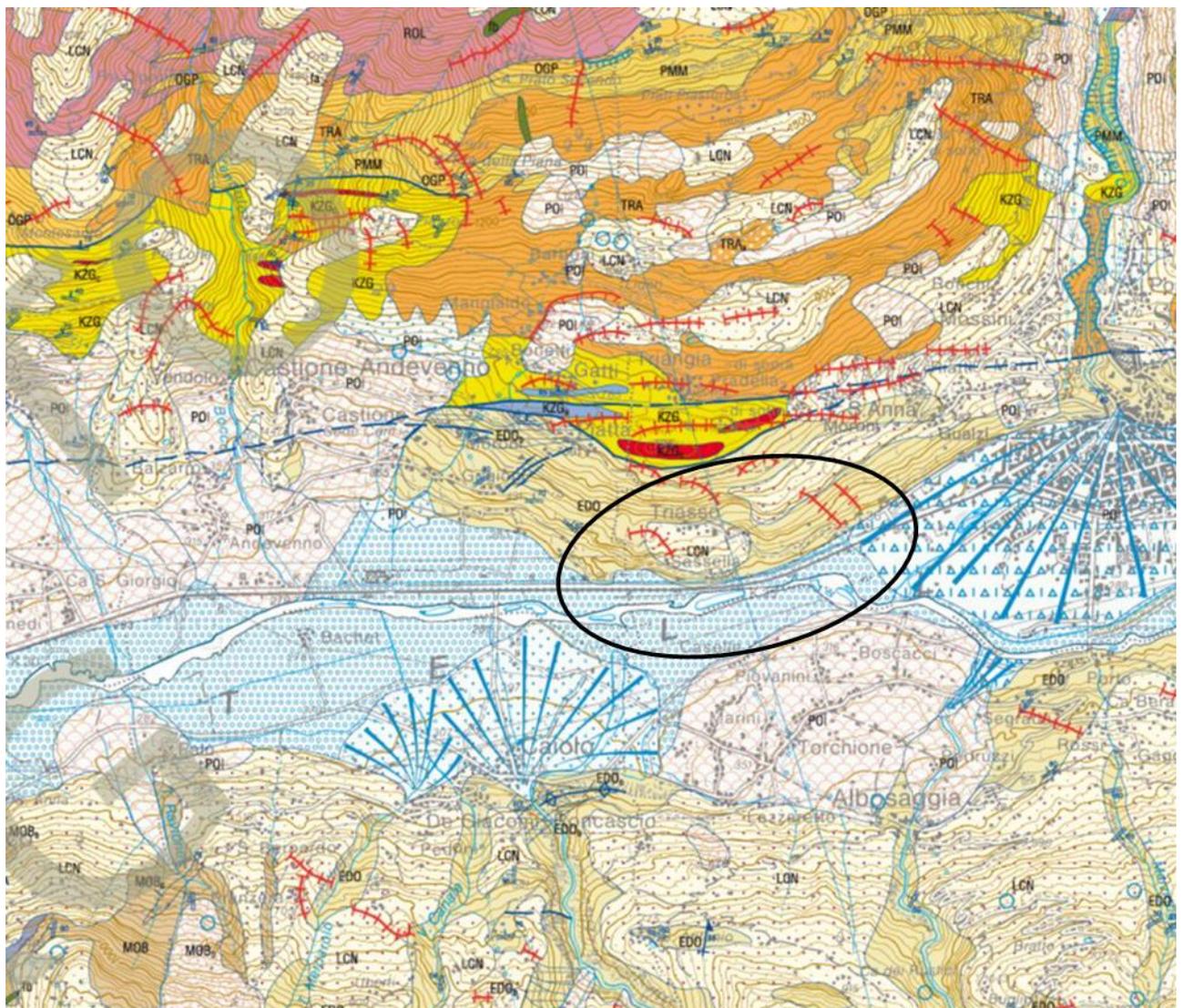


Figura 4.1 – Inquadramento dell'area di studio sullo stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 056 "Sondrio"

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 7 di 89</p>
---	---

L'area è dominata da un lineamento tettonico, rappresentato dalla "Linea Insubrica", la cui traccia percorre in senso W-E il territorio poco a nord dell'area di progetto. La Linea Insubrica separa il Dominio Strutturale dell'Australpino, a nord, dal Dominio Strutturale delle Alpi Meridionali (o Sudalpino), a sud. L'area di progetto ricade, quindi, nel Dominio Strutturale delle Alpi Meridionali e, in particolare, nell'Unità Orobica.

Dallo stralcio della carta geologica su rappresentata si osserva come nell'area di studio, sia in destra che in sinistra idrografica del Fiume Adda, il substrato sia rappresentato dall'Unità degli Scisti di Edolo (EDO), di età presumibilmente cambriana, appartenente al basamento metamorfico delle Alpi Meridionali. L'unità è costituita da micascisti muscovitici a granato e staurolite, in facies delle anfiboliti, con metamorfismo retrogrado, che conferisce spesso alla roccia un colore grigio-verdastro. Sono frequenti lenti di quarzo, appiattite e piegate e intercalazioni di orizzonti milonitici di colore da verde scuro a nerastro.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 8 di 89</p>
--	---

4.2 Caratteri geomorfologici

Il territorio di studio si sviluppa nella pianura alluvionale del Fiume Adda, lungo la riva destra e a breve distanza dal piede dei rilievi che bordano la pianura, poco ad ovest della città di Sondrio. Il tratto della S.S. N° 38, interessato dall'intervento, ha inizio presso la rotatoria al confine tra i comuni di Castione Andevenno e Sondrio, ad una quota di circa 281 m s.l.m., presso la zona artigianale-commerciale. Poco dopo l'inizio dell'intervento l'asse principale entra in variante verso monte e si sviluppa con le nuove opere del cavalcavia, della rotatoria e degli altri assi viari connessi quali la realizzazione della strada F1 Extraurbana e della strada loc. Sassella e dei nuovi rami di entrata e uscita per la S.S. N° 38 collegati alla nuova rotatoria (rampe "A", "B", "C", "D"). L'area in cui sono previste le opere suddette, fino alla progr. 0+600 circa, è ubicata a monte dell'attuale tracciato della strada statale ed è pianeggiante con quote comprese tra 279 e 281 m s.l.m.. Superata l'area dello svincolo il tracciato dell'asse principale torna in sede fino al termine dell'intervento, con una sezione più ampia resa possibile dall'allargamento sul lato monte, terminando alla quota di circa 284 m s.l.m., più alta rispetto al piano campagna naturale di circa 2 m a monte e 1 m a valle.

Per il presente progetto è stato eseguito uno studio geomorfologico del territorio attraversato dalle nuove opere e dei territori limitrofi, attraverso rilievi di campagna ed esame di foto aeree. I lineamenti geomorfologici del territorio di studio dipendono dalle caratteristiche litologiche/granulometriche, geotecniche e strutturali delle formazioni presenti e rappresentano il risultato dell'evoluzione tettonica dell'area.

Il territorio interessato dai tracciati di progetto si sviluppa fondamentalmente tutto in pianura (vedi figura seguente) ma è possibile suddividerlo in due settori principali, che si differenziano per il rapporto tra la pianura stessa e i rilievi circostanti posti in destra idrografica

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 9 di 89</p>
--	---



Figura 4.2 – *Panoramica dell'area di progetto (vista da W verso E).*

La prima parte delle opere di progetto, sostanzialmente ospitante gran parte del nuovo svincolo (dall'inizio alla progr. 0+340 circa), occupa una porzione della pianura abbastanza ampia tra il fiume e i rilievi al contorno.

La seconda parte del tracciato insiste su uno stretto corridoio pianeggiante compreso tra la linea ferroviaria e il piede del versante cosicchè le opere di progetto distano da quest'ultimo fino a un massimo di circa 20 m.

Per le sue caratteristiche geomorfologiche il territorio strettamente interessato dalle opere è immune da problematiche di tipo gravitativo, presentandosi quindi stabile. Tuttavia lo stesso territorio, per quanto descritto precedentemente, è compreso tra due importanti elementi geomorfologici, che risultano immediatamente limitrofi al tracciato stradale: il versante presente immediatamente a monte di buona parte del tracciato e il Fiume Adda presente poco a valle dello stesso.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 10 di 89</p>
--	--

Il versante è impostato nella formazione degli Scisti di Edolo con locali coperture dei terreni del Sintema di Cantù, costituiti da diamicton massivi con clasti e blocchi. Il versante presenta caratteristici terrazzamenti artificiali realizzati per la coltivazione prevalente della vite, dove la pendenza è più sostenuta; la pendenza del versante è variabile ma generalmente elevata nelle aree con affioramento degli Scisti di Edolo, sensibilmente inferiore nelle aree in cui sono presenti le coperture. A ridosso del tracciato stradale il versante è impostato integralmente negli Scisti di Edolo: su di esso si misurano pendenze generali che superano localmente i 40°, mentre in corrispondenza delle alzate dei terrazzi artificiali possono superare anche i 70°. A ridosso o a breve distanza dal tracciato stradale, inoltre, sono presenti numerosi settori in cui affiora la formazione di base in corrispondenza di pareti in roccia. I maggiori affioramenti sono presenti al margine della pianura nella zona dello svincolo, sulla scarpata sottostante l'abitato di Sassella (progr. 0+420-0+540 circa), a valle della chiesa di Sassella (progr. 0+600 circa), tra le progr. 0+660-0+740 (Fig. 6.4) e 0+800-0+840 e presso il termine dell'intervento (dalla progr. 1+000 circa al termine, progr. 1+045).

Attualmente non si registrano fenomeni gravitativi attivi di significativa rilevanza sul versante. Tuttavia si deve tenere conto di quanto riportato nel PAI, nel progetto IFFI e nel PGT dei Comuni di Sondrio e Castione Andevenno.

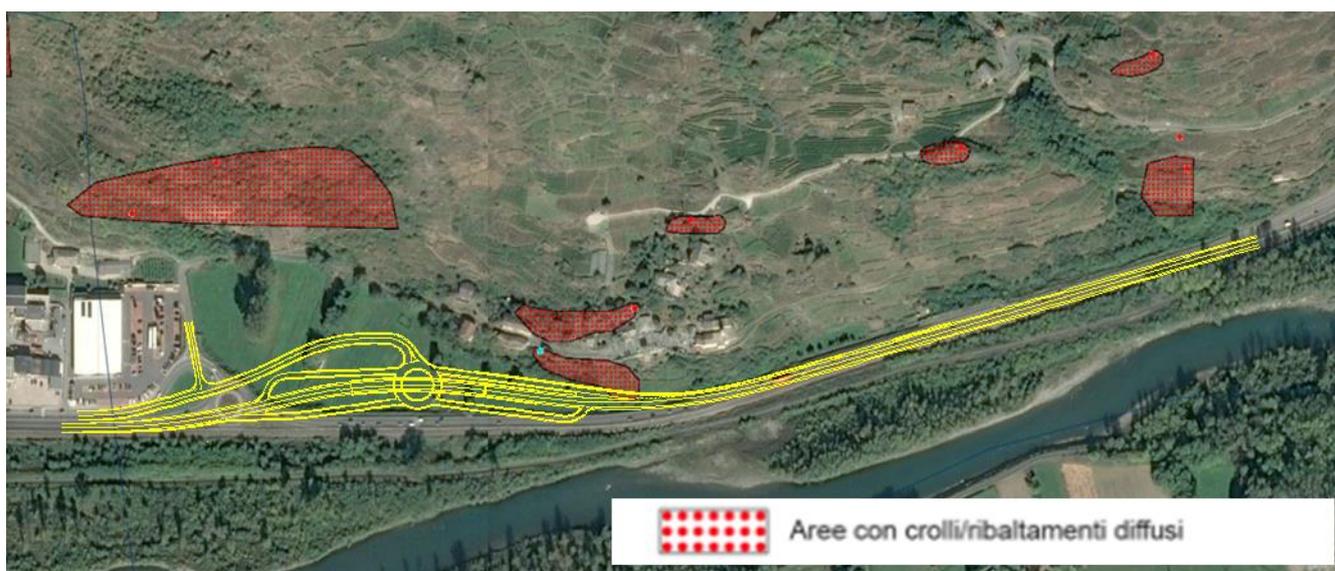


Figura 4.3 – Stralcio della carta del progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia) con indicazione dei tracciati stradali di progetto.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 11 di 89</p>
--	--

Nell'area di studio sono presenti solo aree con crolli o ribaltamenti diffusi sul versante ma non interessanti il tracciato di progetto, ad eccezione di un'area che intercetta con la sua propaggine di valle l'inizio della rampa di svincolo "C" tra le progr. 0+480 e 0+520.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 12 di 89</p>
--	--

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il presente capitolo si propone di fornire un'interpretazione globale delle aree interessate dalla progettazione, che sia comprensiva dei dati derivanti dai sondaggi geognostici, dalle indagini effettuate in sito e dalle prove di laboratorio.

Lo scopo è quello di raccogliere in uno schema organico le variazioni litologiche presenti, facendo riferimento alla fase di studi ed indagini realizzate a supporto della corrente fase di progettazione e dei pregressi livelli progettuali.

Viene demandata, in ogni caso, alla relazione di calcolo delle opere per la definizione dei parametri geotecnici operativi più appropriati, selezionati nell'ambito degli intervalli di variazione stabiliti in funzione dei dati geotecnici del sito specifico, della tipologia di opera analizzata, dello stato limite considerato, del volume di terreno interessato dallo specifico stato limite, sulla scorta, infine, di considerazioni particolari sviluppabili per la singola problematica progettuale.

5.1 Campagna di geognostiche

Per lo studio dei terreni interessati dalle opere in parola si fa riferimento ai risultati del programma di indagini in sito ed in laboratorio sviluppatosi nelle campagne geognostiche precedenti del 2004 e del 2009 e la campagna geognostica eseguita nel 2021.

Limitatamente all'area di progetto di interesse sono stati eseguiti,

- Campagna indagini 2004: n.4 prove penetrometriche dinamiche PP5, PP6, PP7, PP8; n.1 sondaggio a carotaggio continuo S17 su cui sono state eseguite 7 SPT;
- Campagna indagini 2009: n.2 prove penetrometriche dinamiche SCPT1, SCPT2;

Campagna indagini Aprile 2021: n.1 sondaggio a carotaggio continuo S2 su cui sono state eseguite 10 SPT; n.2 campioni rimaneggiati CR1, CR2 e n.1 campione indisturbato CI1 su cui è stata eseguita una prova di taglio diretto TD; n.1 stendimento geofisico con tecnica MASW L2, n. 2 prove di carico su piastra.

- Campagna indagini settembre 2022: n. 1 sondaggi a carotaggio spinto fino alla profondità di 30m (S1CDH); n. 2 sondaggi a carotaggio spinti fino alla profondità di 15m (S3CPZ, S4C); n. 1 sondaggio a distruzione di nucleo spinto fino alla profondità

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 13 di 89</p>
--	--

di 15m (S2DPZ). Nei sondaggi sono stati eseguiti n. 13 campioni rimaneggiati, n 3 campioni lapidei e n. 2 campioni indisturbati. Inoltre sono stati eseguiti n. 13 prove SPT (Standard Penetration Test), n.1 prova sismica in foro tipo Down-Hole (D-H), n. 2 piezometri a tubo aperto, n. 1 piezometro Casagrande. In sito è stata eseguita n.1 prova di profondità 1m (DP1), n. 1 prova di profondità 9,8m (DP3), n. 2 prove di profondità 15m (DP2, DP4) e n. 2 prove tipo stendimento geofisico con tecnica MASW. Nei pozzetti esplorativi sono state eseguite n. 5 prove di carico su piastra.

Le prove di laboratorio sono costituite da:

- - n. 3 determinazioni del peso di volume;
- - n. 5 determinazioni del peso specifico;
- - n. 3 determinazioni dell'umidità naturale;
- - n. 10 granulometrie per setacciatura e sedimentazione;
- - n. 2 prove di taglio diretto (TD);
- - n. 1 prova ELL;
- - n. 1 prova edometrica;
- - n. 3 determinazioni della massa volumica reale e apparente per rocce;
- - n. 3 determinazioni della porosità totale e aperta per rocce;
- - n. 3 determinazioni della resistenza a compressione monoassiale per rocce.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 14 di 89</p>
--	--

5.2 Campagna di geognostiche

L'esecuzione delle perforazioni ha permesso di osservare direttamente la struttura del sottosuolo e di definire la locale successione stratigrafica.

Complessivamente le indagini hanno mostrato in copertura terreno vegetale di spessore variabile e, solo localmente, terreno di riporto. Al di sotto delle coperture, a circa -2m da piano campagna (testa sondaggio S1CDH) sono presenti delle sabbie con limo debolmente argillose. Segue fino ad una profondità media di circa 24m una ghiaia con sabbia debolmente limosa. Infine fino a fondo foro sondaggio è presente della sabbia limosa.

Una parte marginale significativa che va ben al di fuori del piano di posa delle fondazioni del viadotto di progetto, si presenta, ad una quota di circa -5,0m da boccaforo sondaggio S3CPz e fino a fondo foro, un substrato litoide metamorfico costituito da Scisti di Edolo.

Dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati sismostratigrafici e dalle informazioni desumibili dalle indagini in situ e dai campioni analizzati in laboratorio, ai fini geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità.

- **Terreno vegetale/Riporti;**
- **Sabbie con limo debolmente argillose (TERRENO A);**
- **Ghiaia con sabbia debolmente limosa (TERRENO B);**
- **Sabbia limosa (TERRENO C);**
- **Substrato litoide Scisti di Edolo (TERRENO D).**

Il **terreno vegetale** e i **riporti antropici** costituiscono un orizzonte tessituralmente e strutturalmente eterogeneo, non affidabile dal punto di vista geotecnico.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 15 di 89</p>
--	--

5.3 Superficie piezometrica

Per lo studio locale della falda si è fatto riferimento principalmente alle letture e alle informazioni piezometriche disponibili dalle campagne di indagine svolte a supporto della progettazione.

Nell'ambito della campagna geognostica eseguita a settembre 2021, è stata misurata un livello della falda idrica in corrispondenza del piezometro installato nel sondaggio S2DPZ pari a circa -2.2 m da quota boccaforo. Nel piezometro installato nel sondaggio S3DPZ il livello di falda è risultato essere pari a -2.80m.

Nella campagna di indagine pregressa di Aprile 2021 ed in particolare nel piezometro installato nel sondaggio S2 il livello di falda è risultato pari a -3,73m da quota boccaforo.

Come "falda di progetto" in fase definitiva, livello futuro massimo dell'acquifero sperimentabile durante la vita utile dei manufatto, può assumersi la quota assoluta -2.00m da p.c. (boccaforo sondaggi).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 16 di 89</p>
--	--

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

6.1 Prove in situ

6.1.1 Prove penetrometriche SPT e DPSH

Per le prove penetrometriche dinamiche continue DPSH, eseguite mediante penetrometro statico/dinamico Pagani TG 63/200 con standard DPSH ("Super Pesante"), è pratica comune interpretare la prova utilizzando le formule di correlazione proprie delle prove SPT.

Il numero di colpi necessario all'infissione della punta conica è stato misurato ogni 20cm per le DPSH eseguite nel settembre 2021 e ogni 30cm per le PP eseguite del 2004 e le SCPT eseguite nel 2009.

Il numero di colpi di penetrazione standard N_{20} (ed N_{30}) indicato nei rapporti di prova va preliminarmente convertito in numero di colpi N_{SPT} , tenendo in considerazione le diverse energie proprie di ciascun sistema a mezzo della relazione:

$$N_{SPT} = \beta \cdot N_{20} = 1.25 \times N_{20}.$$

Le 30 prove SPT hanno interessato tutte le unità presenti nell'area di progetto. Rappresentano inoltre tutte le campagne di indagini, pregresse e attuali.

Per tenere conto dei fattori di variabilità connessi ai diversi dispositivi di infissione presenti sul mercato e alla pressione efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova, viene valutato in funzione della profondità il valore normalizzato di N_{SPT} , cioè $(N_1)_{60}$, ricavato dalla seguente procedura:

1. Si esegue la correzione di N_{SPT} , numero di colpi/piede misurato in avanzamento con la perforazione di sondaggio, per sabbie limose sotto falda secondo l'espressione di Terzaghi e Peck (1948) $N_C = 15 + 0.5 \cdot (N_{SPT} - 15)$.
2. Si determina $(N_1)_{60}$, numero di colpi normalizzato ad una pressione effettiva di confinamento di circa 100 kPa (tramite il fattore di correzione C_N) ed in funzione dei

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 17 di 89</p>
--	--

fattori di correzione per rapporto di energia, diametro del foro, lunghezza delle aste e attrezzo campionatore secondo l'espressione:

$$(N_1)_{60} = N_C \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S.$$

Per C_N si è adottata la formulazione di $C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$ (Liao e Whitman, 1986).

Per C_E , assumendo un fattore di rendimento energetico ER del sistema di infissione pari a 60 (espresso in %), in accordo con la configurazione di prova correntemente adoperata in Italia risulta $C_E = \frac{ER}{60} = \frac{60}{60} = 1$.

I coefficienti C_B (diametro del foro) e C_S (attrezzo campionatore) sono stati assunti unitari, in quanto le prove sono state eseguite in accordo alle raccomandazioni fornite dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1977).

Il fattore correttivo C_R (lunghezza delle aste della macchina esecutrice L) viene assunto pari a 0.75 per $L < 3m$, 0.80 per $L = 3 \div 4m$, 0.85 per $L = 4 \div 6m$, 0.95 per $L = 6 \div 10m$, 1.0 per $L = 10 \div 30m$ (Skempton, 1986; Robertson e Wride, 1998).

Per gli strati terrosi con caratteristiche a prevalenza granulare, vengono elaborati in termini di parametri drenati ed in tensioni efficaci. Per la determinazione dei parametri fisico-meccanici, sono state utilizzate le seguenti correlazioni:

- Densità relativa (Bazaraa, 1962):

$$D_R(\%) = 100 \cdot \sqrt{\frac{(N)_{60}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{v0})}}$$

- Densità relativa (Skempton):

Il metodo è valido per le sabbie da fini a grossolane, per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati. Nel caso di depositi ghiaiosi il valore di $D_r(\%)$

$$\left(\frac{N_{spt} \sqrt{\frac{98}{\sigma}}}{32 + 0.288\sigma} \right)$$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 18 di 89</p>
--	--

viene sovrastimato, nei depositi limosi viene sottostimato. Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$D_r(\%) = 100$$

dove:

σ = pressione efficace in kPa;

Nspt = numero di colpi medio nello strato;

- Densità relativa (Yoshida et al. 1988):

$$D_R(\%) = 0,25 N_{SPT}^{0,46} \cdot \left(100 \frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{-0,12}, \text{ per tutti i terreni granulari;}$$

- Angolo d'attrito (Road Bridge Specification):

Il metodo è valido per sabbie fini o limose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ($\sigma > 15\text{-}20$ t/mq).

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 15N_{spt} + 15.$$

- Angolo d'attrito (Schmertmann 1978):

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco ϕ'_p è stato utilizzato il metodo di correlazione indiretta proposto da Schmertmann (1978) che fornisce il valore di ϕ'_p noto il valore della densità relativa D_R .

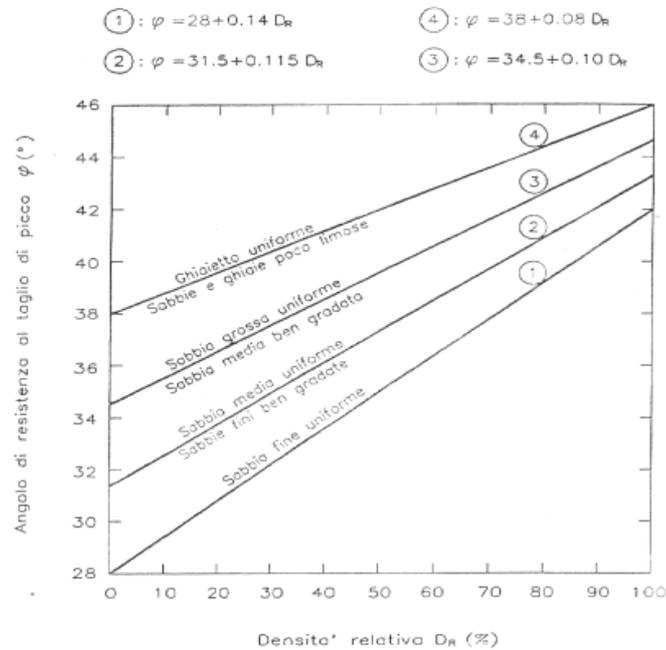


Figura 6.1 - Abaco φ' - D_R (Schmertmann, 1978).

$\varphi' = 28 + 0.14 D_R$	Sabbia fine
$\varphi' = 31.5 + 0.115 D_R$	Sabbia media
$\varphi' = 34.5 + 0.10 D_R$	Sabbia grossa
$\varphi' = 38 + 0.08 D_R$	Ghiaia

Nel caso specifico, in funzione della litologia riscontrata alla profondità di misura, si è adottata nella totalità dei casi la seguente relazione:

$$\varphi' = 28 + 0.14 D_R;$$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 20 di 89</p>
--	--

- Angolo d'attrito (Bolton 1986):

I valori dell'angolo di resistenza al taglio di picco φ'_p sono stati stimati anche con la metodologia di Bolton-Baligh.

In accordo a Bolton (1986):

$$\varphi'_p = \varphi'_{cv} + m \cdot DI$$

$$DI = D_R \cdot [Q - \ln(p'_f)] - R$$

essendo:

φ'_{cv} = angolo di attrito a volume costante (°);

m = costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione (-);

DI = indice di dilatanza (-);

D_R = densità relativa (-);

Q e R = variabili intrinseche del terreno (-);

p'_f = pressione efficace media a rottura (kPa);

σ'_{ff} = tensione normale alla superficie di rottura in condizioni di rottura (kPa).

L'angolo di attrito a volume costante φ'_{cv} è determinabile da prove di laboratorio o stimabile sulla base di quanto indicato da Bolton (1986) e con i valori suggeriti da Stroud (1988) e Youd (1972).

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

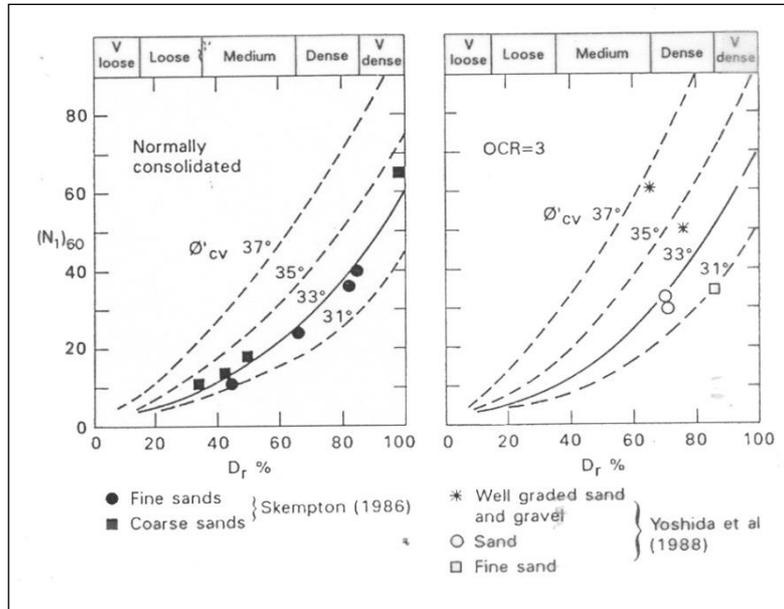


Figura 6.2 - Valori dell'angolo di attrito a volume costante ϕ'_{cv} (da Bolton, 1986)

ϕ'_{cv}	Sabbie ben gradate	Sabbie uniformi
Sabbie con spigoli vivi	38°	34°
Sabbie con spigoli arrotondati	33°	30°

Tabella 6.1 - Valori dell'angolo di attrito a volume costante ϕ'_{cv} in accordo a Stroud (1988) e Youd (1972).

Nel caso specifico, in relazione alle litologie riscontrate alle varie profondità di misura, si è assunto in tutti casi $\phi'_{cv}=30^\circ$.

Per la costante empirica m , dipendente dalla condizione di deformazione prevalente, si è assunto il valore cautelativo di 3, in accordo ai valori proposti da Bolton (1986).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 22 di 89</p>
---	--

Condizioni di deformazione	m (-)
Tipiche di prove triassiali di compressione (problemi di carico in condizioni assialsimmetriche)	3
Tipiche di prove di taglio semplice (problemi in condizioni di deformazione piana)	5

Tabella 6.2 - Valori della costante empirica m in accordo a Bolton (1986).

Le variabili intrinseche del terreno Q e R possono assumersi rispettivamente pari a 10 e -1, congruentemente con i valori suggeriti da Salgado et al. per sabbie quarzose come quelle di interesse (2000 e 2004).

In accordo all'involuppo di rottura curvilineo proposto da Baligh (1975) fino a valori di $\sigma'_{ff} = 272$ kPa l'angolo di attrito di picco ϕ'_p può essere assunto indipendente dalla pressione di confinamento; pertanto, in prima approssimazione, l'angolo di attrito di picco ϕ'_p può essere determinato adottando $p'_f = 1.4 \cdot \sigma'_{ff} = 1.4 \times 272 \text{ kPa} = 380 \text{ kPa}$.

Per valori di p'_f superiori a 380 kPa (caso non di interesse per le opere superficiali in oggetto), l'angolo di attrito ϕ'_p tenderà invece a diminuire; esso andrà determinato caso per caso sulla base di una valutazione dell'entità di σ'_{ff} o di p'_f associabile allo specifico problema al contorno da esaminare.

Per controllo, i valori stimati per $m \cdot DI = \phi'_p - \phi'_{cv}$ sono stati confrontati con il grafico sperimentale di Figura 6.3(Bolton, 1986).

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

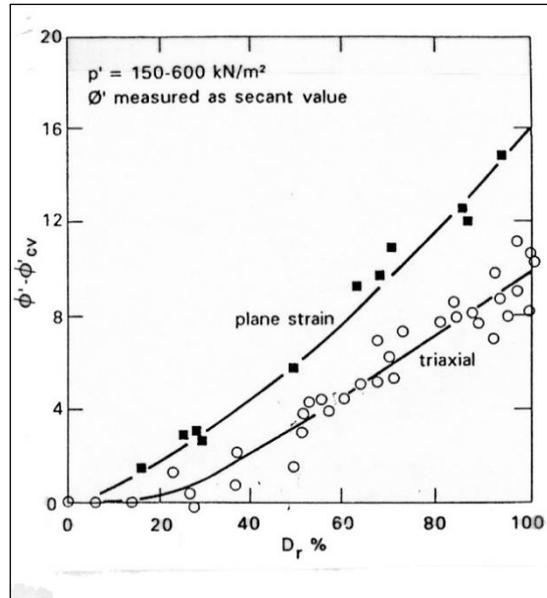


Figura 6.3 - Valori di $\phi'_p - \phi'_{cv}$ in accordo a Bolton (1986).

- Angolo d'attrito (Japanese National Railway):

Il metodo è valido per sabbie medie - grosse fino a sabbie ghiaiose e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità superiori a 8 - 10 m nel caso di terreni sopra falda e di 15 m per terreni immersi in falda ($\sigma > 15-20 \text{ t/mq}$). Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\phi = 0,3N_{spt} + 27$$

- Angolo d'attrito (De Mello):

Il metodo di De Mello è valido per le sabbie in genere e per qualunque profondità (tranne che per i primi 2 m sotto il p.c.). E' da considerarsi inattendibile però per valori di ϕ superiori a 38° . Il metodo si basa sulla seguente relazione:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 24 di 89</p>
--	--

- $\phi = 19 - 3,8 + 8,73 \text{Log}(N_{spt})$

- Angolo d'attrito (Owasaki & Iwasaki):

Il metodo è valido per sabbie da medie a grossolane fino a debolmente ghiaiose. Anche questo metodo trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova superiori a 8 - 10 m per terreni sopra falda e superiori a 15 m per terreni in falda ($\sigma > 15-20$ t/mq). Il metodo si basa sulla seguente relazione:

- $\phi = 20N_{spt} + 15$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 25 di 89</p>
--	--

- Modulo di elasticità (Schmertmann):

Il metodo è valido per le sabbie in genere. La relazione non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di E con la profondità.

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$- E(\text{kg / cmq}) = 2BN_{spt}$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio nello strato e B è una costante variabile in funzione della litologia:

B	Litologia
4	Sabbia fine
6	Sabbia media
10	Sabbia grossolana

Tabella 6.3 – Valore di B in funzione della litologia (Schmertmann).

- Modulo di elasticità (D'appolonia et Alii):

Questa correlazione è valida per le sabbie con ghiaia e per le sabbie sovraconsolidate. La correlazione calcola il modulo di Young senza considerare l'influenza della pressione efficace, portando così ad una diminuzione del valore di E con la profondità:

- $E(\text{kg / cmq}) = 7.71N_{spt} + 191$ (Ghiaia + Sabbia);
- $E(\text{kg / cmq}) = 10.63N_{spt} + 375$ (Sabbia SC);

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 26 di 89</p>
--	--

- Modulo di elasticità (Denver, 1982):

$$\circ E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

#	s ₁ (Kg/cm ²)	s ₂ (Kg/cm ²)	Terreno
1	7.56	187.5	Sabbia e ghiaia
2	10.43	367.9	Sabbia
3	5.17	74.6	Sabbia
4	4.78	71.7	Sabbia satura
5	3.16	15.8	Sabbia argillosa

Tabella 6.4 – Coefficienti per la stima del modulo di elasticità (Denver, 1982).

In particolare, nel caso specifico si è adottata la relazione "5".

- Modulo di Young secante (Jamiolkowski et al. 1988):

Modulo di Young secante, cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%:

$$\circ E'_{25}(kg/cm^2) = (10.5 - 3.5 \cdot D_R) \cdot N_{SPT}$$

La relazione è valida per sabbie normalconsolidate.

- Modulo elastico (Berardi e Lancellotta (1991)):

La valutazione dei parametri di rigidezza è avvenuta anche considerando E' dipendente dal livello di sforzo e deformazione con il metodo di Berardi e Lancellotta (1991), che fornisce una

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 27 di 89</p>
--	--

stima del modulo E' operativo in presenza di deformazioni verticale medie pari allo 0.1% a mezzo dell'espressione:

$$E' = K_E \cdot p_a \cdot \left(\frac{\sigma'_{v0} + 0.5 \cdot \Delta\sigma'_v}{p_a} \right)^{0.5}$$

con K_E = numero di modulo;

$p_a = 98.05 kPa$ pressione atmosferica;

σ'_{v0} = tensione efficace litostatica;

$\Delta\sigma'_v$ = incremento di tensione efficace indotto.

Nota la densità relativa dei terreni D_R , il valore di K_E è ottenuto dall'abaco rappresentato in Figura 6.4.

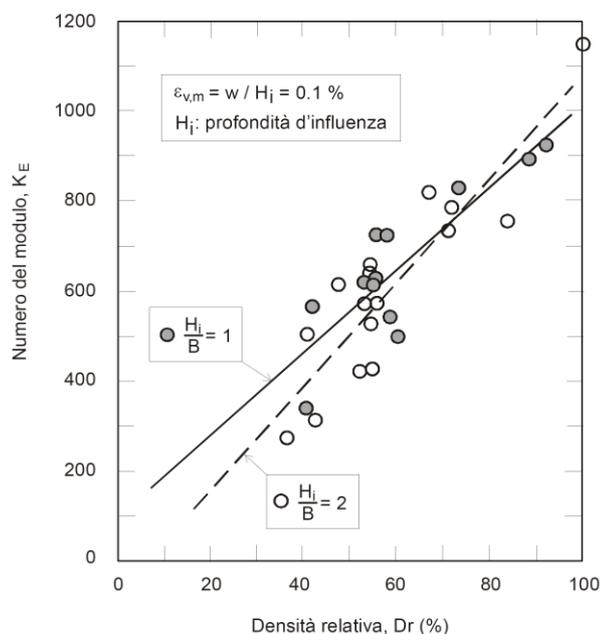


Figura 6.4 – Dipendenza del numero di modulo K_E dalla densità relativa D_R (da Berardi e Lancellotta, 1991).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 28 di 89</p>
--	--

Nelle valutazioni contenute nel seguito si assume a favore di sicurezza $\Delta\sigma'_v = 0$, minimizzando il modulo elastico.

In base ai valori di densità relativa D_R restituiti dalle prove, analizzati più avanti (in media $D_R = 45 \div 60\%$), si è assunto in via cautelativa $K_{E(0.1\%)} = 400$.

- Modulo elastico (Janbu 1963):

Le caratteristiche di rigidezza del materiale per un livello di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25% (E'_{25}) sono state desunte alternativamente attraverso la relazione di Janbu (1963):

$$E' = K \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n,$$

con $p_a = 98.05 kPa$, che esprime il modulo elastico E' dipendente dalla pressione efficace media p' e dal livello di sforzo e deformazione tramite i coefficienti K e n . Questi vengono determinati in base alle indicazioni dell'Autore stesso e di Jamiolkowski e Pasqualini (1983) in funzione del livello di tensione deviatorica applicato f :

$$f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}.$$

Per $f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f} = 0.25$, si sono adottati:

- livelli sabbio-limosi: $K = 150$ e $n = 0.5$;
- livelli sabbiosi: $K = 250$ e $n = 0.5$.

Per p' può porsi:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 29 di 89</p>
--	--

$$p' = \frac{1 + 2 \cdot k_0}{3} \stackrel{NC}{\cong} \frac{1 + 2 \cdot (1 - \sin \phi')}{3}$$

- Modulo di Taglio G_0 (Ohta e Goto 1978):

La rigidità a taglio a piccole deformazioni G_0 è stata determinata a partire dai valori delle velocità delle onde trasversali V_s impiegando la seguente relazione ricavabile dalla teoria dell'elasticità:

$$G_0 = \gamma/g \cdot V_s^2,$$

dove la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s è ricavata in base alla seguente correlazione di Ohta e Goto (1978):

$$V_s(m/s) = 54.33 \cdot N_{SPT}^{0.173} \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{z}{0.303}\right)^{0.193} \quad (\text{Ohta e Goto})$$

con N_{SPT} numero di colpi medio misurato nello strato, z è la profondità in m da p.c., α fattore che tiene conto dell'età del deposito (1.0 per i depositi olocenici), β fattore che tiene conto del tipo di terreno.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 30 di 89</p>
---	--

SONDAGGIO	SPT	TERRENO	da m	a m	PROFONDITA' media	N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}	(N ₁) ₆₀	Dr (%)		
											Bazaraa (1962)	Skempton	(Yoshida et al., 1988)
n°	-												
S17	Sondaggio_2004	A	2,00	2,45	2,23	3	7	15	22	21	50	88	64
S17	Sondaggio_2004	B	5,00	5,45	5,23	6	7	9	16	16	41	61	57
S17	Sondaggio_2004	B	8,20	8,65	8,43	12	9	11	20	18	42	61	59
S17	Sondaggio_2004	C	12,30	12,75	12,53	13	20	25	45	26	48	74	66
S17	Sondaggio_2004	C	15,00	15,45	15,23	27	22	30	52	27	47	73	66
S17	Sondaggio_2004	C	19,30	19,75	19,53	12	27	24	51	23	43	64	62
S17	Sondaggio_2004	C	23,50	23,95	23,73	28	34	42	76	30	46	71	67
S2	apr-21	A	1,50	1,95	1,73	4	4	5	9	12	38	62	53
S2	apr-21	B	3,00	3,45	3,23	10	R		100	R			
S2	apr-21	B	6,00	6,45	6,23	25	16	24	40	31	58	95	72
S2	apr-21	B	9,00	9,45	9,23	24	22	14	36	24	48	75	64
S2	apr-21	B	12,00	12,45	12,23	48	6	R	100	R			
S2	apr-21	B	15,00	15,45	15,23	21	24	20	44	23	44	67	63
S2	apr-21	B	18,00	18,45	18,23	19	19	17	36	19	38	56	58
S2	apr-21	C	21,00	21,45	21,23	16	17	20	37	18	37	52	56
S2	apr-21	C	24,00	24,45	24,23	23	20	22	42	18	36	52	57
S2	apr-21	B	27,00	27,45	27,23	17	16	16	32	14	31	43	52
S1CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	7	9	13	22	21	49	81	63
S1CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	12	17	29	24	50	78	66
S1CDH	set-21	B	9,00	9,45	9,23	12	17	21	38	26	51	81	67
S1CDH	set-21	B	12,00	12,45	12,23	9	10	12	22	16	38	53	56
S1CDH	set-21	B	15,00	15,45	15,23	12	26	38	64	31	51	81	70
S1CDH	set-21	B	18,00	18,45	18,23	15	22	31	53	25	44	68	64

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 31 di 89</p>
--	--

S1CDH	set-21	B	21,00	21,45	21,23	11	14	22	36	17	36	52	56
S1CDH	set-21	C	24,00	24,45	24,23	11	21	25	46	20	38	55	58
S3CDH	set-21	A	1,50	1,95	1,73	3	3	4	7	9	33	54	49
S3CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	4	9	6	15	17	44	67	59
S3CDH	set-21	B	4,50	4,95	4,73	6	7	11	18	17	44	67	59
S4CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	11	14	19	33	27	56	100	69
S4CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	15	27	42	31	57	94	72

A	MAX	50,47	87,96	63,90
A	MIN	33,47	54,44	48,62
A	MEDIA	40,63	68,05	55,16

B	MAX	57,55	99,78	72,07
B	MIN	31,36	42,71	51,71
B	MEDIA	45,70	71,11	62,38

C	MAX	47,95	74,41	66,63
C	MIN	36,26	52,13	56,37
C	MEDIA	40,60	61,33	59,77

Tabella 6.5 – SPT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Densità relativa).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 32 di 89</p>
---	--

SONDAGGIO	SPT	TERRENO	da m	a m	PROFONDITA' media	N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}	(N ₁) ₆₀	φ (°)					
											RoadBridge Sp.	Schmertmann (1978)	(Bolton, 1986)	Jap.Railway	DeMello	Owasaki & Iwasaki
S17	Sondaggio_2004	A	2,00	2,45	2,23	3	7	15	22	21	33	35	35	34	31	36
S17	Sondaggio_2004	B	5,00	5,45	5,23	6	7	9	16	16	30	34	34	32	29	33
S17	Sondaggio_2004	B	8,20	8,65	8,43	12	9	11	20	18	32	34	34	33	30	35
S17	Sondaggio_2004	C	12,30	12,75	12,53	13	20	25	45	26	41	35	35	41	33	45
S17	Sondaggio_2004	C	15,00	15,45	15,23	27	22	30	52	27	43	35	35	43	33	47
S17	Sondaggio_2004	C	19,30	19,75	19,53	12	27	24	51	23	43	34	35	42	33	47
S17	Sondaggio_2004	C	23,50	23,95	23,73	28	34	42	76	30	49	34	35	50	35	54
S2	apr-21	A	1,50	1,95	1,73	4	4	5	9	12	27	33	33	30	27	28
S2	apr-21	B	3,00	3,45	3,23	10	R		100	R						
S2	apr-21	B	6,00	6,45	6,23	25	16	24	40	31	39	36	36	39	33	43
S2	apr-21	B	9,00	9,45	9,23	24	22	14	36	24	38	35	35	38	32	42
S2	apr-21	B	12,00	12,45	12,23	48	6	R	100	R						
S2	apr-21	B	15,00	15,45	15,23	21	24	20	44	23	41	34	35	40	33	45
S2	apr-21	B	18,00	18,45	18,23	19	19	17	36	19	38	33	34	38	32	42
S2	apr-21	C	21,00	21,45	21,23	16	17	20	37	18	39	33	34	38	32	42
S2	apr-21	C	24,00	24,45	24,23	23	20	22	42	18	40	33	34	40	32	44
S2	apr-21	B	27,00	27,45	27,23	17	16	16	32	14	37	32	33	37	31	40
S1CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	7	9	13	22	21	33	35	35	34	31	36
S1CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	12	17	29	24	36	35	35	36	31	39
S1CDH	set-21	B	9,00	9,45	9,23	12	17	21	38	26	39	35	35	38	32	43
S1CDH	set-21	B	12,00	12,45	12,23	9	10	12	22	16	33	33	34	34	30	36

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 33 di 89</p>
--	--

S1CDH	set-21	B	15,00	15,45	15,23	12	26	38	64	31	46	35	35	46	34	51
S1CDH	set-21	B	18,00	18,45	18,23	15	22	31	53	25	43	34	35	43	33	48
S1CDH	set-21	B	21,00	21,45	21,23	11	14	22	36	17	38	33	34	38	32	42
S1CDH	set-21	C	24,00	24,45	24,23	11	21	25	46	20	41	33	34	41	33	45
S3CDH	set-21	A	1,50	1,95	1,73	3	3	4	7	9	25	33	33	29	26	27
S3CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	4	9	6	15	17	30	34	34	32	29	32
S3CDH	set-21	B	4,50	4,95	4,73	6	7	11	18	17	31	34	34	32	30	34
S4CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	11	14	19	33	27	37	36	35	37	32	41
S4CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	15	27	42	31	40	36	36	40	33	44

A	MAX	33,17	35,07	34,78	33,60	30,56	35,98
A	MIN	25,25	32,69	32,92	29,10	26,25	26,83
A	MEDIA	28,34	33,69	33,72	30,80	28,01	30,41

B	MAX	45,98	36,06	35,78	46,20	34,16	50,78
B	MIN	30,00	32,39	33,30	31,50	29,07	32,32
B	MEDIA	36,87	34,40	34,60	36,93	31,53	40,25

C	MAX	48,76	34,71	35,12	49,80	34,52	53,99
C	MIN	38,56	33,08	33,87	38,10	31,88	42,20
C	MEDIA	40,13	33,68	34,28	40,41	32,14	44,02

Tabella 6.6 – SPT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Angolo d'attrito).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 34 di 89</p>
---	--

SONDAGGIO	SPT	TERRENO	da m	a m	PROFONDITA' media	N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}	(N ₁) ₆₀	E (MPa)	E (MPa)	E' (MPa)	E' ₂₅ (MPa)	E' _{0.1%} (MPa)	E' (MPa)	V _s (m/s)	G ₀ (MPa)
											Schmertmann	D'Appolonia et alii	Denver (1982)	Jamiolkowski NC (1988)	Berardi e Lancellotta (1991)	Janbu (1963)	Ohta e Goto	Ohta e Goto
S17	Sondaggio_2004	A	2,00	2,45	2,23	3	7	15	22	21	18	36	9	19	19	8	147	42
S17	Sondaggio_2004	B	5,00	5,45	5,23	6	7	9	16	16	13	31	7	14	25	10	165	53
S17	Sondaggio_2004	B	8,20	8,65	8,43	12	9	11	20	18	16	35	8	18	28	19	184	62
S17	Sondaggio_2004	C	12,30	12,75	12,53	13	20	25	45	26	36	54	16	40	35	13	212	87
S17	Sondaggio_2004	C	15,00	15,45	15,23	27	22	30	52	27	42	59	18	46	38	15	222	95
S17	Sondaggio_2004	C	19,30	19,75	19,53	12	27	24	51	23	41	58	34	46	42	28	228	100
S17	Sondaggio_2004	C	23,50	23,95	23,73	28	34	42	76	30	61	78	26	68	46	20	246	117
S2	apr-21	A	1,50	1,95	1,73	4	4	5	9	12	7	26	4	8	17	7	126	31
S2	apr-21	B	3,00	3,45	3,23	10	R		100	R								
S2	apr-21	B	6,00	6,45	6,23	25	16	24	40	31	32	50	14	34	25	17	191	67
S2	apr-21	B	9,00	9,45	9,23	24	22	14	36	24	29	47	13	32	31	11	197	75
S2	apr-21	B	12,00	12,45	12,23	48	6	R	100	R								
S2	apr-21	B	15,00	15,45	15,23	21	24	20	44	23	35	53	30	39	38	25	217	91
S2	apr-21	B	18,00	18,45	18,23	19	19	17	36	19	29	47	13	33	41	17	216	90
S2	apr-21	C	21,00	21,45	21,23	16	17	20	37	18	30	48	13	34	44	29	221	94
S2	apr-21	C	24,00	24,45	24,23	23	20	22	42	18	34	51	15	39	46	20	227	100
S2	apr-21	B	27,00	27,45	27,23	17	16	16	32	14	26	44	12	30	49	22	223	96
S1CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	7	9	13	22	21	18	36	9	19	21	8	157	48
S1CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	12	17	29	24	23	41	11	25	26	10	183	65
S1CDH	set-21	B	9,00	9,45	9,23	12	17	21	38	26	30	48	14	33	29	19	200	73
S1CDH	set-21	B	12,00	12,45	12,23	9	10	12	22	16	18	36	9	20	34	13	195	73
S1CDH	set-21	B	15,00	15,45	15,23	12	26	38	64	31	51	68	22	56	38	15	228	101
S1CDH	set-21	B	18,00	18,45	18,23	15	22	31	53	25	42	60	35	47	41	27	227	100
S1CDH	set-21	B	21,00	21,45	21,23	11	14	22	36	17	29	47	13	33	44	18	220	94
S1CDH	set-21	C	24,00	24,45	24,23	11	21	25	46	20	37	55	16	42	46	31	230	103
S3CDH	set-21	A	1,50	1,95	1,73	3	3	4	7	9	6	24	11	7	17	11	121	28
S3CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	4	9	6	15	17	12	31	6	13	21	7	152	45
S3CDH	set-21	B	4,50	4,95	4,73	6	7	11	18	17	14	33	7	16	24	16	164	52
S4CDH	set-21	B	3,00	3,45	3,23	11	14	19	33	27	26	45	12	28	21	7	165	52
S4CDH	set-21	B	6,00	6,45	6,23	9	15	27	42	31	34	51	15	36	26	17	191	71

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 35 di 89</p>
--	--

A	MAX	17,60	36,06	11,08	19,21	19,45	11,44	147,29	42,01
A	MIN	5,60	24,50	4,42	6,53	17,17	6,83	121,10	28,40
A	MEDIA	10,13	28,87	8,01	11,33	17,93	8,64	131,62	33,80
B	MAX	51,20	68,44	34,86	55,72	49,02	26,90	228,02	100,70
B	MIN	12,00	30,67	6,32	13,44	21,43	6,64	151,73	44,59
B	MEDIA	26,49	44,63	13,78	29,37	31,39	15,42	193,04	72,70
C	MAX	60,80	77,70	33,83	67,51	46,48	30,76	246,05	117,25
C	MIN	29,60	47,63	13,27	34,12	34,82	13,21	212,41	87,38
C	MEDIA	35,77	53,57	18,01	40,41	40,00	21,26	214,26	91,52

Tabella 6.7 – SPT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Modulo elastico e di taglio).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 36 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%)	Dr (%)	φ (°)	φ (°)	E' (MPa)	E' ₂₅ (MPa)	E' _{0.1%} (MPa)	V _s (m/s)	G ₀ (MPa)
						(Yoshida et al., 1988)	Bazaraa (1962)	(Schmertmann, 1978)	(Bolton, 1986)	Denver (1982)	Jamiolkowski NC (1988)	Berardi e Lancellotta (1991)	Ohta e Goto	Ohta e Goto
PP5_2004	A	0,3	22	21	84	114	91	41	36	22	20	7	127	33
PP5_2004	A	0,6	5	5	14	59	40	34	30	11	6	10	106	23
PP5_2004	A	0,9	4	4	9	50	33	33	29	10	5	13	106	23
PP5_2004	A	1,2	5	5	10	50	34	33	29	11	6	15	114	26
PP5_2004	A	1,5	3	3	5	40	25	32	28	9	4	16	107	23
PP5_2004	A	1,8	3	3	5	38	24	31	28	9	4	18	109	24
PP5_2004	B	2,1	12	11	17	60	45	34	31	15	13	19	140	40
PP5_2004	B	2,4	7	9	13	54	39	33	30	12	8	20	137	38
PP5_2004	B	2,7	8	9	13	54	39	34	30	13	9	21	141	41
PP5_2004	B	3,0	22	16	22	64	50	35	31	22	24	22	157	50
PP5_2004	B	3,3	21	17	22	64	50	35	31	21	23	22	160	52
PP5_2004	B	3,6	16	14	18	60	46	34	31	18	18	23	157	51
PP5_2004	B	3,9	21	17	21	63	49	35	31	21	23	23	164	55
PP5_2004	C	4,2	4	9	11	50	34	33	29	10	5	24	148	44
PP5_2004	C	4,5	3	8	10	48	33	33	29	9	4	25	147	44
PP5_2004	C	4,8	5	9	11	50	34	33	29	11	6	25	152	47
PP5_2004	C	5,1	6	10	11	50	35	33	29	11	7	26	155	49
PP5_2004	B	5,4	8	11	12	52	36	33	29	13	9	26	159	51
PP5_2004	B	5,7	13	13	15	55	40	34	30	16	15	27	166	56
PP5_2004	B	6,0	13	13	15	55	39	33	30	16	15	27	167	57
PP5_2004	B	6,3	9	12	14	54	37	33	30	13	10	28	166	56
PP5_2004	B	6,6	24	21	23	64	48	35	31	23	26	28	184	69
PP5_2004	B	6,9	17	17	18	59	43	34	30	18	19	29	178	65
PP5_2004	B	7,2	14	15	16	57	40	36	33	32	16	34	176	63

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 37 di 89</p>
--	--

PP5_2004	B	7,5	16	17	17	58	41	36	33	34	18	34	179	65
PP5_2004	B	7,8	18	18	18	59	42	36	33	36	20	35	182	67
PP5_2004	B	8,1	42	32	32	71	55	38	35	58	45	36	202	83
PP5_2004	B	8,4	47	35	34	73	57	38	35	63	50	36	206	87
PP5_2004	B	8,7	52	38	36	74	59	38	35	68	55	37	210	90
PP5_2004	B	9,0	R											

MAX	114,41	90,98	40,74	36,08	21,68	20,12	18,00	126,80	32,78
MIN	38,48	23,83	31,34	27,90	9,40	3,61	7,35	105,65	22,76
MEDIA	58,67	41,13	33,76	30,01	11,98	7,26	13,27	111,28	25,36

MAX	74,37	58,94	38,28	35,18	67,89	54,84	36,54	210,06	89,96
MIN	51,69	35,93	33,03	29,38	11,98	7,98	19,44	137,34	38,46
MEDIA	60,44	45,04	35,02	31,43	26,92	21,96	27,73	170,04	59,79

MAX	50,34	34,60	32,84	29,21	11,34	6,97	25,63	154,52	48,68
MIN	48,25	32,61	32,57	28,97	9,40	3,51	24,00	147,23	44,20
MEDIA	49,57	33,90	32,75	29,13	10,37	5,24	24,82	150,25	46,05

Tabella 6.8 – PP5_2004: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 38 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%)	Dr (%)	φ (°)	φ (°)	E' (MPa)	E' ₂₅ (MPa)	E' _{0.1%} (MPa)	V _s (m/s)	G ₀ (MPa)
						(Yoshida et al., 1988)	Bazaraa (1962)	(Schmertmann, 1978)	(Bolton, 1986)	Denver (1982)	Jamiolkowski NC (1988)	Berardi e Lancellotta (1991)	Ohta e Goto	Ohta e Goto
		media												
PP6_2004	A	0,3	14	13	54	98	73	38	34	17	14	7	117	28
PP6_2004	A	0,6	3	3	8	50	31	32	29	9	4	10	97	19
PP6_2004	A	0,9	4	4	9	50	33	33	29	10	5	13	106	23
PP6_2004	A	1,2	4	4	8	47	31	32	29	10	5	15	109	24
PP6_2004	A	1,5	3	3	5	40	25	32	28	9	4	16	107	23
PP6_2004	A	1,8	3	3	5	38	24	31	28	9	4	18	109	24
PP6_2004	A	2,1	5	5	7	44	29	32	29	11	6	19	121	30
PP6_2004	A	2,4	3	7	10	50	35	33	29	9	3	20	132	35
PP6_2004	A	2,7	5	8	11	51	36	33	29	11	6	21	137	38
PP6_2004	B	3,0	33	21	29	70	58	36	32	29	35	22	165	55
PP6_2004	B	3,3	59	36	48	83	74	38	34	46	58	22	183	68
PP6_2004	B	3,6	R											

MAX	98,11	72,57	38,16	33,84	16,51	13,93	21,00	137,07	38,30
MIN	38,48	23,83	31,34	27,90	9,40	3,48	7,35	96,71	19,07
MEDIA	51,95	35,16	32,92	29,28	10,62	5,47	15,60	114,95	27,25

MAX	83,31	73,85	38,34	33,99	45,59	58,38	22,25	182,67	68,03
MIN	70,16	58,03	36,12	32,07	28,79	34,93	21,63	164,69	55,30
MEDIA	76,73	65,94	37,23	33,03	37,19	46,66	21,94	173,68	61,67

Tabella 6.9 – PP6_2004: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 39 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' ₂₅ (MPa) Jamiołkowski NC (1988)	E' _{0.1%} (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V _s (m/s) Ohta e Goto	G ₀ (MPa) Ohta e Goto
		media												
PP7_2004	A	0,3	20	19	77	111	87	40	36	20	19	7	125	32
PP7_2004	A	0,6	3	3	8	50	31	32	29	9	4	10	97	19
PP7_2004	A	0,9	2	2	4	39	23	31	28	9	2	13	94	18
PP7_2004	A	1,2	3	3	6	42	27	32	28	9	4	15	104	22
PP7_2004	A	1,5	5	5	9	48	32	33	29	11	6	16	116	28
PP7_2004	A	1,8	3	3	5	38	24	31	28	9	4	18	109	24
PP7_2004	A	2,1	4	4	6	41	26	32	28	10	5	19	116	28
PP7_2004	A	2,4	6	8	12	53	38	33	30	11	7	20	136	38
PP7_2004	A	2,7	4	8	11	50	35	33	29	10	5	21	136	38
PP7_2004	A	3,0	8	9	13	53	39	33	30	13	9	22	143	42
PP7_2004	A	3,3	7	10	13	53	38	33	30	12	8	22	145	43
PP7_2004	B	3,6	14	13	17	58	44	34	30	17	16	23	155	49
PP7_2004	B	3,9	22	17	22	63	49	35	31	22	24	23	165	55
PP7_2004	B	4,2	28	21	27	68	54	36	32	26	30	24	173	61
PP7_2004	A	4,5	3	8	10	48	33	33	29	9	4	25	147	44
PP7_2004	A	4,8	7	10	12	52	36	33	29	12	8	25	155	49
PP7_2004	A	5,1	9	11	13	53	37	33	30	13	10	26	159	51
PP7_2004	A	5,4	7	10	12	51	35	33	29	12	8	26	157	50
PP7_2004	A	5,7	10	12	13	53	37	33	30	14	12	27	162	54
PP7_2004	A	6,0	11	12	13	53	37	33	30	15	13	27	165	55
PP7_2004	B	6,3	13	15	16	57	41	34	30	16	15	28	171	60
PP7_2004	B	6,6	16	17	18	59	42	34	30	18	18	28	176	63
PP7_2004	B	6,9	21	20	21	62	46	34	31	21	23	29	182	67
PP7_2004	B	7,2	27	23	24	65	49	37	34	44	30	34	188	72
PP7_2004	B	7,5	23	21	21	62	46	37	34	40	26	34	186	70
PP7_2004	B	7,8	20	19	19	60	43	36	33	38	22	35	184	69

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 40 di 89</p>
--	--

PP7_2004	B	8,1	42	32	32	71	55	38	35	58	45	36	202	83
PP7_2004	B	8,4	43	33	32	71	55	38	35	59	46	36	204	85
PP7_2004	B	8,7	42	32	31	70	54	38	35	58	45	37	204	85
PP7_2004	B	9,0	44	33	31	71	55	38	35	60	47	37	206	87
PP7_2004	B	9,3	52	38	35	73	58	38	35	68	55	38	212	91
PP7_2004		9,6	R											

MAX	110,76	86,74	40,14	35,56	20,39	18,66	27,17	164,68	55,29
MIN	38,48	23,23	31,25	27,83	8,75	2,42	7,35	94,14	18,07
MEDIA	52,26	36,23	33,07	29,41	11,72	7,37	19,97	133,30	37,30

MAX	73,45	57,66	38,13	35,02	67,89	55,13	37,53	211,80	91,45
MIN	70,62	54,53	37,77	34,64	60,33	47,25	37,04	206,13	86,62
MEDIA	65,11	49,33	36,17	32,72	38,95	31,60	31,48	186,26	71,30

Tabella 6.10 – PP7_2004: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 41 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA' media	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' ₂₅ (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	E' _{0.1%} (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V _s (m/s) Ohta e Goto	G ₀ (MPa) Ohta e Goto
PP8_2004	A	0,3	14	13	54	98	73	38	34	17	14	7	117	28
PP8_2004	A	0,6	3	3	8	50	31	32	29	9	4	10	97	19
PP8_2004	A	0,9	4	4	9	50	33	33	29	10	5	13	106	23
PP8_2004	A	1,2	4	4	8	47	31	32	29	10	5	15	109	24
PP8_2004	A	1,5	3	3	5	40	25	32	28	9	4	16	107	23
PP8_2004	A	1,8	3	3	5	38	24	31	28	9	4	18	109	24
PP8_2004	A	2,1	2	2	3	32	19	31	27	9	2	19	103	22
PP8_2004	A	2,4	5	8	12	52	37	33	30	11	6	20	135	37
PP8_2004	A	2,7	3	7	10	49	34	33	29	9	3	21	134	37
PP8_2004	A	3,0	7	9	12	52	38	33	30	12	8	22	142	41
PP8_2004	B	3,3	34	23	31	72	59	36	32	29	36	22	169	59
PP8_2004	B	3,6	58	35	46	82	72	38	34	45	58	23	184	69
PP8_2004	B	3,9	41	27	34	74	62	37	32	34	43	23	178	64
PP8_2004	B	4,2	55	36	44	81	70	38	34	43	55	24	189	73
PP8_2004	B	4,5	39	27	33	73	60	36	32	33	41	25	182	67
PP8_2004	B	4,8	46	31	37	76	63	37	33	37	48	25	188	72
PP8_2004		5,1	R											

MAX	98,11	72,57	38,16	33,84	16,51	13,93	21,63	141,87	41,04
MIN	32,36	18,56	30,60	27,26	8,75	2,46	7,35	96,71	19,07
MEDIA	50,81	34,34	32,81	29,18	10,56	5,38	16,20	115,86	27,81

MAX	81,90	71,98	38,08	33,77	44,94	57,86	25,10	188,97	72,80
MIN	71,88	59,44	36,32	32,24	29,43	35,78	22,25	169,46	58,54
MEDIA	76,23	64,37	37,01	32,84	36,86	46,73	23,70	181,71	67,40

Tabella 6.11 – PP8_2004: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 42 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N_{SCPT}	$(N)_{60}$	$(N_1)_{60}$	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	ϕ (°) (Schmertmann, 1978)	ϕ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E'25 (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	E'0.1% (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	Vs (m/s) Ohta e Goto	Go (MPa) Ohta e Goto
		media												
SCPT1_2009	A	0,3	7	7	27	78	51	35	31	12	8	7	104	22
SCPT1_2009	A	0,6	16	15	43	88	71	38	34	18	16	10	129	34
SCPT1_2009	A	0,9	14	13	31	76	61	37	32	17	15	13	132	35
SCPT1_2009	A	1,2	7	7	13	56	41	34	30	12	8	15	121	30
SCPT1_2009	A	1,5	7	7	12	54	38	33	30	12	8	16	123	31
SCPT1_2009	A	1,8	14	13	22	65	51	35	31	17	15	18	142	41
SCPT1_2009	B	2,1	18	17	26	68	56	36	32	19	19	19	151	46
SCPT1_2009	B	2,4	27	18	27	69	56	36	32	25	29	20	156	49
SCPT1_2009	B	2,7	20	15	21	63	50	35	31	20	22	21	153	48
SCPT1_2009	B	3,0	20	15	21	62	49	35	31	20	22	22	155	49
SCPT1_2009	B	3,3	21	17	22	64	50	35	31	21	23	22	160	52
SCPT1_2009	B	3,6	27	20	26	67	54	36	32	25	29	23	167	57
SCPT1_2009	B	3,9	31	22	28	69	55	36	32	27	33	23	171	60
SCPT1_2009	B	4,2	31	23	29	70	56	36	32	27	33	24	175	62
SCPT1_2009	B	4,5	32	23	29	70	56	36	32	28	34	25	177	64
SCPT1_2009	B	4,8	29	22	26	67	53	35	31	26	31	25	177	64
SCPT1_2009	B	5,1	33	24	28	69	55	36	32	29	35	26	181	67
SCPT1_2009	B	5,4	16	15	17	58	43	34	30	18	18	26	168	58
SCPT1_2009	B	5,7	20	17	19	60	45	34	30	20	22	27	173	61
SCPT1_2009	B	6,0	25	20	22	63	47	35	31	24	28	27	179	65
SCPT1_2009	B	6,3	40	31	33	73	59	36	32	33	42	28	195	77
SCPT1_2009	B	6,6	17	17	18	60	43	34	30	18	19	28	177	64
SCPT1_2009	B	6,9	6	11	11	50	34	33	29	11	7	29	164	55
SCPT1_2009	B	7,2	13	15	15	56	39	36	33	31	15	34	174	62

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 43 di 89</p>
---	--

SCPT1_2009	B	7,5	20	19	19	60	44	37	33	38	22	34	183	68
SCPT1_2009	B	7,8	39	30	30	70	54	38	35	56	42	35	199	81
SCPT1_2009	B	8,1	42	32	32	71	55	38	35	58	45	36	202	83

A	MAX	87,54	70,90	37,93	33,64	17,80	16,04	18,00	141,92	41,06
A	MIN	53,53	38,36	33,37	29,67	11,98	7,62	7,35	104,01	22,06
A	MEDIA	69,35	52,36	35,33	31,38	14,46	11,57	13,27	125,16	32,21
B	MAX	73,38	58,67	37,87	34,75	58,44	44,94	35,52	202,17	83,33
B	MIN	50,36	33,61	32,71	29,09	11,34	6,99	19,44	150,68	46,29
B	MEDIA	64,75	50,14	35,46	31,68	27,45	27,21	26,36	173,18	61,54

Tabella 6.12 – SCPT1_2009: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N_{SCPT}	$(N)_{60}$	$(N_1)_{60}$	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	ϕ (°) (Schmertmann, 1978)	ϕ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E'_{25} (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	$E'_{0.1\%}$ (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V_s (m/s) Ohta e Goto	G_0 (MPa) Ohta e Goto
SCPT2_2009	A	media	12	11	46	93	67	37	33	15	12	7	114	27
SCPT2_2009	A	0,3	12	11	46	93	67	37	33	15	12	7	114	27
SCPT2_2009	A	0,6	3	3	8	50	31	32	29	9	4	10	97	19
SCPT2_2009	A	0,9	4	4	9	50	33	33	29	10	5	13	106	23
SCPT2_2009	A	1,2	4	4	8	47	31	32	29	10	5	15	109	24
SCPT2_2009	A	1,5	3	3	5	40	25	32	28	9	4	16	107	23
SCPT2_2009	A	1,8	6	6	9	49	34	33	29	11	7	18	123	31
SCPT2_2009	B	2,1	24	23	35	75	64	37	33	23	25	19	158	51
SCPT2_2009	B	2,4	34	22	32	73	61	37	32	29	36	20	160	52
SCPT2_2009	B	2,7	40	24	35	75	64	37	33	33	41	21	166	56
SCPT2_2009	B	3,0	42	25	35	75	64	37	33	35	43	22	170	59

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 44 di 89</p>
---	--

SCPT2_2009	B	3,3	41	27	36	75	64	37	33	34	42	22	174	61
SCPT2_2009	B	3,6	43	28	36	75	64	37	33	35	44	23	177	64
SCPT2_2009	B	3,9	34	23	29	70	57	36	32	29	36	23	173	61
SCPT2_2009	B	4,2	17	15	19	61	46	34	31	18	19	24	163	54
SCPT2_2009	B	4,5	6	10	12	51	36	33	29	11	7	25	152	47
SCPT2_2009	B	4,8	3	8	10	48	32	32	29	9	4	25	149	45
SCPT2_2009	B	5,1	6	10	11	50	35	33	29	11	7	26	155	49
SCPT2_2009	B	5,4	15	14	16	57	42	34	30	17	17	26	167	57
SCPT2_2009	B	5,7	30	22	25	66	51	35	31	27	33	27	182	67
SCPT2_2009	B	6,0	38	27	29	69	55	36	32	32	41	27	188	72
SCPT2_2009	B	6,3	38	30	32	72	58	36	32	32	40	28	193	76
SCPT2_2009	B	6,6	30	25	27	68	52	35	31	27	33	28	189	73
SCPT2_2009	B	6,9	31	26	27	68	52	35	31	27	34	29	190	74
SCPT2_2009	B	7,2	40	31	32	72	56	38	35	57	43	34	198	80
SCPT2_2009	B	7,5	33	27	27	68	52	37	34	50	36	34	194	77
SCPT2_2009	B	7,8	31	26	26	66	50	37	34	48	34	35	193	76
SCPT2_2009	B	8,1	22	20	20	61	44	37	33	40	25	36	187	71

A	MAX	93,10	67,19	37,41	33,18	15,22	12,22	18,00	122,57	30,63
A	MIN	40,13	25,11	31,52	28,06	9,40	3,53	7,35	96,71	19,07
A	MEDIA	54,64	36,72	33,14	29,47	10,91	5,96	13,27	109,27	24,47
B	MAX	75,45	64,29	37,99	34,87	56,55	44,44	35,52	197,90	79,84
B	MIN	47,77	32,09	32,49	28,91	9,40	3,52	19,44	148,51	44,97
B	MEDIA	66,46	52,28	35,75	31,94	29,81	30,39	26,36	175,16	63,02

Tabella 6.13 – SCPT2_2009: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 45 di 89</p>
---	--

PROVA	SPT	TERRENO	PROFONDITA'	media	N ₁	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' ₂₅ (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	E' _{0.1%} (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V _s (m/s) Ohta e Goto	G ₀ (MPa) Ohta e Goto
DP1	1	Rilevato stradale	0,2		9	8	42		93	60	36	32	13	9	6	104	22
DP1	2	Rilevato stradale	0,4		33	31	109		123	108	43	38	29	28	8	140	40
DP1	3	Rilevato stradale	0,6		48	45	130		127	123	45	40	38	37	10	156	50
DP1	4	Rilevato stradale	0,8		55	52	129		125	125	45	40	43	42	12	165	55
DP1	5	Rilevato stradale	1,0		R												

Tabella 6.14 – DPSH1_2021: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	media	N _{SCPT}	N _{SPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' ₂₅ (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	E' _{0.1%} (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V _s (m/s) Ohta e Goto	G ₀ (MPa) Ohta e Goto
DP2	A	0,2		2	3	2	9	56	28	32	28	9	2	6	80	13
DP2	A	0,4		2	3	2	7	47	27	32	28	9	2	8	86	15
DP2	A	0,6		2	3	2	5	43	25	32	28	9	2	10	90	17
DP2	A	0,8		2	3	2	5	40	24	31	28	9	2	12	93	18
DP2	A	1,0		2	3	2	4	38	23	31	28	9	2	13	95	18
DP2	A	1,2		2	3	2	4	37	22	31	28	9	2	15	97	19
DP2	A	1,4		1	1	1	2	28	15	30	27	8	1	16	88	16
DP2	A	1,6		1	1	1	2	27	14	30	27	8	1	17	89	16
DP2	A	1,8		8	10	8	13	54	39	33	30	13	9	18	129	34
DP2	A	2,0		17	21	16	25	68	55	36	32	18	18	19	148	45
DP2	B	2,2		18	23	17	25	68	55	36	32	19	19	20	151	47

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 46 di 89</p>
---	--

DP2	B	2,4	11	14	11	16	57	43	34	30	15	12	20	142	41
DP2	B	2,6	9	11	10	14	55	41	34	30	13	10	21	141	41
DP2	B	2,8	9	11	10	14	55	40	34	30	13	10	21	143	42
DP2	B	3,0	13	16	12	16	57	43	34	30	16	15	22	149	45
DP2	B	3,2	12	15	12	16	58	43	34	30	15	13	22	151	46
DP2	B	3,4	13	16	13	17	58	44	34	30	16	15	22	153	48
DP2	B	3,6	8	10	10	13	53	38	33	30	13	9	23	149	45
DP2	B	3,8	15	19	14	17	59	44	34	30	17	17	23	158	51
DP2	B	4,0	19	24	16	20	61	47	35	31	20	21	24	163	54
DP2	B	4,2	27	34	21	26	67	53	35	32	25	29	24	172	60
DP2	B	4,4	17	21	15	19	61	46	34	31	18	19	24	165	55
DP2	B	4,6	17	21	15	19	60	45	34	30	18	19	25	166	56
DP2	B	4,8	11	14	12	15	55	40	36	33	29	13	29	160	52
DP2	B	5,0	11	14	12	14	55	39	36	33	29	13	30	161	53
DP2	B	5,2	14	18	14	16	57	41	36	33	32	16	30	165	56
DP2	B	5,4	10	13	12	13	53	38	36	33	28	11	31	161	53
DP2	B	5,6	6	8	10	11	50	34	35	32	24	7	31	156	50
DP2	B	5,8	4	5	9	10	47	32	35	32	23	5	31	154	48
DP2	B	6,0	4	5	9	9	47	31	35	32	23	5	32	155	49
DP2	B	6,2	9	11	12	14	54	37	36	33	27	10	32	166	56
DP2	B	6,4	14	18	15	17	58	41	36	33	32	16	32	173	61
DP2	B	6,6	21	26	20	21	62	46	37	34	39	23	33	181	67
DP2	B	6,8	20	25	19	20	61	45	37	33	38	22	33	181	67
DP2	B	7,0	20	25	19	20	61	45	37	33	38	22	34	181	67
DP2	B	7,2	26	33	23	23	64	48	37	34	43	29	34	187	72
DP2	B	7,4	28	35	24	24	65	49	37	34	45	31	34	190	73
DP2	B	7,6	22	28	20	20	61	45	37	33	40	25	35	185	70
DP2	B	7,8	15	19	16	16	57	40	36	33	33	17	35	178	65
DP2	B	8,0	17	21	17	17	58	41	36	33	35	19	35	181	67
DP2	B	8,2	17	21	17	17	57	40	36	33	35	19	36	182	67
DP2	B	8,4	22	28	20	20	60	43	36	33	40	25	36	187	72
DP2	B	8,6	22	28	20	19	60	43	36	33	40	25	36	188	72
DP2	B	8,8	20	25	19	18	59	42	36	33	38	23	37	187	71
DP2	B	9,0	19	24	18	17	58	41	36	33	37	22	37	186	71
DP2	B	9,2	24	30	21	20	61	43	36	33	41	27	37	191	75
DP2	B	9,4	32	40	26	24	65	48	37	34	49	35	38	199	81
DP2	B	9,6	28	35	24	22	62	45	37	33	45	31	38	196	78
DP2	B	9,8	12	15	14	13	52	35	35	32	30	14	38	180	66

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 47 di 89</p>
---	--

DP2	B	10,0	17	21	17	16	55	38	36	33	35	19	39	186	71
DP2	B	10,2	33	41	28	25	66	48	37	34	50	36	39	203	84
DP2	B	10,4	27	34	24	22	62	44	37	33	44	30	39	199	81
DP2	B	10,6	19	24	19	17	57	39	36	33	37	22	40	192	75
DP2	B	10,8	23	29	22	19	60	42	36	33	40	26	40	196	78
DP2	B	11,0	20	25	20	17	58	39	36	33	38	23	40	193	76
DP2	B	11,2	22	28	21	18	59	40	36	33	40	25	41	196	78
DP2	B	11,4	31	39	27	23	63	45	37	34	48	35	41	204	85
DP2	B	11,6	28	35	25	21	61	43	36	33	45	31	41	202	83
DP2	B	11,8	30	38	26	22	62	44	37	33	47	34	41	205	85
DP2	B	12,0	28	35	25	21	61	43	36	33	45	32	42	203	84
DP2	B	12,2	17	21	18	15	55	36	36	32	35	20	42	193	76
DP2	B	12,4	15	19	17	14	53	35	35	32	33	17	42	191	74
DP2	B	12,6	11	14	14	12	50	32	35	32	29	13	43	186	70
DP2	B	12,8	7	9	12	10	47	29	35	32	25	29	43	180	66
DP2	B	13,0	18	23	19	15	55	36	36	32	36	21	43	195	78
DP2	B	13,2	21	26	21	17	56	38	36	33	39	24	43	199	81
DP2	B	13,4	26	33	24	19	59	40	36	33	43	30	44	204	85
DP2	B	13,6	22	28	21	17	56	38	36	33	40	25	44	201	82
DP2	B	13,8	26	33	24	19	58	40	36	33	43	30	44	205	85
DP2	B	14,0	25	31	23	18	58	39	36	33	42	29	45	204	85
DP2	B	14,2	31	39	27	21	61	42	36	33	48	35	45	210	90
DP2	B	14,4	25	31	23	18	57	38	36	33	42	29	45	205	86
DP2	B	14,6	16	20	18	14	52	33	35	32	34	19	45	196	78
DP2	B	14,8	15	19	17	13	51	33	35	32	33	18	46	195	77
DP2	B	15,0	14	18	16	12	50	32	35	32	32	16	46	194	76

A	MAX	67,75	54,94	35,69	31,69	18,45	18,23	18,97	148,42	44,91
A	MIN	27,22	14,24	29,99	26,73	8,11	1,25	6,00	80,20	13,11
A	MEDIA	43,85	27,11	31,80	28,30	9,98	4,43	13,48	99,55	21,06
B	MAX	67,58	54,86	37,14	33,97	49,94	36,37	45,90	209,91	89,83
B	MIN	46,82	28,82	33,39	29,69	12,63	4,70	19,90	141,39	40,76
B	MEDIA	57,73	40,93	35,73	32,38	33,12	20,88	35,03	180,74	67,35

Tabella 6.15 – DPSH2_2021: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 48 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N _{SCPT}	(N) ₆₀	(N ₁) ₆₀	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	φ (°) (Schmertmann, 1978)	φ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E' ₂₅ (MPa) Jamiolkowski NC (1988)	E' _{0.1%} (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	V _s (m/s) Ohta e Goto	G ₀ (MPa) Ohta e Goto
		media												
DP3	A	0,2	3	3	14	64	35	33	29	9	3	6	86	15
DP3	A	0,4	2	2	7	47	27	32	28	9	2	8	86	15
DP3	A	0,6	2	2	5	43	25	32	28	9	2	10	90	17
DP3	A	0,8	1	1	2	32	17	30	27	8	1	12	82	14
DP3	A	1,0	2	2	4	38	23	31	28	9	2	13	95	18
DP3	A	1,2	1	1	2	29	15	30	27	8	1	15	86	15
DP3	A	1,4	1	1	2	28	15	30	27	8	1	16	88	16
DP3	A	1,6	2	2	3	34	20	31	27	9	2	17	100	20
DP3	A	1,8	9	8	14	56	41	34	30	13	10	18	131	35
DP3	A	2,0	10	9	15	57	42	34	30	14	11	19	135	37
DP3	B	2,2	13	12	18	60	47	35	31	16	14	20	143	42
DP3	B	2,4	14	12	18	60	46	34	31	17	16	20	145	43
DP3	B	2,6	14	12	18	59	45	34	31	17	16	21	147	44
DP3	B	2,8	7	9	13	53	38	33	30	12	8	21	140	40
DP3	B	3,0	12	11	16	57	42	34	30	15	14	22	148	44
DP3	B	3,2	15	14	18	60	46	34	31	17	17	22	154	48
DP3	B	3,4	20	16	21	63	49	35	31	20	22	22	160	52
DP3	B	3,6	8	10	13	53	38	33	30	13	9	23	149	45
DP3	B	3,8	17	15	19	60	46	34	31	18	19	23	160	52
DP3	B	4,0	3	8	10	48	33	33	29	9	4	24	143	42
DP3	B	4,2	11	12	15	56	41	34	30	15	12	24	157	50
DP3	B	4,4	8	11	13	53	38	33	30	13	9	24	154	49
DP3	B	4,6	3	8	10	48	32	33	29	9	4	25	148	44
DP3	B	4,8	4	9	10	49	33	35	32	23	5	29	150	46
DP3	B	5,0	12	13	15	56	40	36	33	30	14	30	162	53
DP3	B	5,2	14	14	16	57	41	36	33	32	16	30	165	56
DP3	B	5,4	12	13	15	55	39	36	33	30	14	31	164	55
DP3	B	5,6	15	14	16	57	41	36	33	33	17	31	168	57
DP3	B	5,8	12	13	14	54	39	36	33	30	14	31	165	56
DP3	B	6,0	4	9	9	47	31	35	32	23	5	32	155	49
DP3	B	6,2	5	10	11	50	34	35	32	23	6	32	160	52

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 49 di 89</p>
---	--

DP3	B	6,4	7	11	12	52	35	36	32	25	8	32	164	55
DP3	B	6,6	12	14	15	56	39	36	33	30	14	33	171	60
DP3	B	6,8	13	15	16	56	40	36	33	31	15	33	173	61
DP3	B	7,0	15	16	17	58	41	36	33	33	17	34	176	63
DP3	B	7,2	27	23	24	65	49	37	34	44	30	34	188	72
DP3	B	7,4	31	26	26	67	51	37	34	48	34	34	192	75
DP3	B	7,6	29	24	25	66	49	37	34	46	32	35	191	75
DP3	B	7,8	22	20	20	61	44	37	33	40	25	35	186	70
DP3	C	8,0	11	14	14	53	36	36	32	29	13	35	174	62
DP3	C	8,2	9	12	12	51	34	35	32	27	10	36	172	60
DP3	C	8,4	6	11	10	49	32	35	32	24	7	36	168	57
DP3	C	8,6	5	10	10	47	30	35	32	23	6	36	167	57
DP3	C	8,8	5	10	10	47	30	35	32	23	6	37	167	57
DP3	C	9,0	5	10	10	47	30	35	32	23	6	37	168	57
DP3	C	9,2	4	10	9	46	29	35	32	23	5	37	166	56
DP3	C	9,4	4	10	9	46	29	35	31	23	5	38	167	57
DP3	B	9,6	50	37	34	72	56	38	35	66	53	38	211	91
DP3		9,8	R											
DP3		10,0												

A	MAX	63,79	42,14	33,90	30,13	13,92	11,28	18,97	135,40	37,38
A	MIN	28,06	14,77	30,07	26,80	8,11	1,24	6,00	82,46	13,86
A	MEDIA	42,87	25,96	31,63	28,16	9,59	3,84	13,48	98,08	20,30
B	MAX	66,89	50,85	37,35	34,19	48,05	33,79	35,00	192,16	75,28
B	MIN	47,08	31,21	32,54	28,95	9,40	3,51	19,90	140,47	40,23
B	MEDIA	56,47	41,01	35,11	31,65	24,55	14,65	27,82	161,29	53,46
C	MAX	53,32	36,30	35,67	32,42	29,15	12,69	37,70	174,15	61,83
C	MIN	45,76	28,73	34,80	31,50	22,53	4,74	35,35	166,41	56,46
C	MEDIA	48,37	31,35	35,11	31,82	24,54	7,17	36,53	168,63	57,99

Tabella 6.16 – DPSH3_2021: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 50 di 89</p>
---	--

PROVA	TERRENO	PROFONDITA'	N_{SPT}	$(N)_{60}$	$(N_1)_{60}$	Dr (%) (Yoshida et al., 1988)	Dr (%) Bazaraa (1962)	ϕ (°) (Schmertmann, 1978)	ϕ (°) (Bolton, 1986)	E' (MPa) Denver (1982)	E'25 (MPa) Jamiołkowski NC (1988)	E'0.1% (MPa) Berardi e Lancellotta (1991)	Vs (m/s) Ohta e Goto	Go (MPa) Ohta e Goto
		media												
DP4	A	0,2	2	2	9	56	28	32	28	9	2	6	80	13
DP4	A	0,4	2	2	7	47	27	32	28	9	2	8	86	15
DP4	A	0,6	1	1	3	34	18	30	27	8	1	10	80	13
DP4	A	0,8	1	1	2	32	17	30	27	8	1	12	82	14
DP4	A	1,0	0											
DP4	A	1,2	0											
DP4	A	1,4	3	3	5	41	26	32	28	9	4	16	106	23
DP4	A	1,6	2	2	3	34	20	31	27	9	2	17	100	20
DP4	A	1,8	3	3	5	38	24	31	28	9	4	18	109	24
DP4	A	2,0	4	4	6	41	27	32	28	10	5	19	116	27
DP4	A	2,2	9	8	13	53	39	33	30	13	10	20	134	37
DP4	B	2,4	17	14	20	62	49	35	31	18	19	20	148	45
DP4	B	2,6	22	16	23	65	52	35	31	22	24	21	154	48
DP4	B	2,8	20	15	21	63	50	35	31	20	22	21	154	48
DP4	B	3,0	16	13	18	60	46	34	31	18	18	22	152	47
DP4	B	3,2	15	14	18	60	46	34	31	17	17	22	154	48
DP4	B	3,4	11	12	15	57	42	34	30	15	12	22	151	46
DP4	B	3,6	7	10	12	53	37	33	30	12	8	23	147	44
DP4	B	3,8	20	16	21	62	48	35	31	20	22	23	162	54
DP4	B	4,0	18	15	19	60	46	34	31	19	20	24	162	53
DP4	B	4,2	23	19	23	65	51	35	31	22	25	24	169	58
DP4	B	4,4	26	20	25	66	52	35	31	24	28	24	172	61
DP4	B	4,6	18	16	19	61	46	34	31	19	20	25	166	57

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 51 di 89</p>
--	--

DP4	B	4,8	13	13	16	57	41	36	33	31	15	29	162	54
DP4	B	5,0	11	12	14	55	39	36	33	29	13	30	161	53
DP4	B	5,2	16	15	17	58	43	36	33	34	18	30	167	57
DP4	B	5,4	24	19	22	63	48	37	34	41	26	31	176	63
DP4	B	5,6	25	20	22	63	48	37	34	42	28	31	177	64
DP4	B	5,8	25	20	22	63	48	37	34	42	28	31	178	65
DP4	B	6,0	20	17	19	60	44	37	33	38	22	32	174	62
DP4	B	6,2	15	16	17	59	42	36	33	33	17	32	173	61
DP4	B	6,4	10	13	14	55	38	36	33	28	11	32	168	58
DP4	B	6,6	15	16	17	58	42	36	33	33	17	33	175	62
DP4	B	6,8	18	18	19	60	44	37	33	36	20	33	179	65
DP4	B	7,0	15	16	17	58	41	36	33	33	17	34	176	63
DP4	B	7,2	18	18	18	59	43	36	33	36	20	34	180	66
DP4	C	7,4	9	12	13	52	36	36	32	27	10	34	170	59
DP4	C	7,6	9	12	13	52	35	36	32	27	10	35	170	59
DP4	C	7,8	9	12	12	52	35	36	32	27	10	35	171	60
DP4	C	8,0	3	9	9	46	29	35	32	22	4	35	162	53
DP4	C	8,2	3	9	9	46	29	35	32	22	4	36	162	54
DP4	C	8,4	7	11	11	50	32	35	32	25	8	36	170	59
DP4	C	8,6	7	11	11	49	32	35	32	25	8	36	170	59
DP4	C	8,8	9	12	12	51	34	35	32	27	10	37	173	61
DP4	C	9,0	4	10	9	46	29	35	32	23	5	37	166	56
DP4	C	9,2	7	11	11	49	32	35	32	25	8	37	171	60
DP4	C	9,4	4	10	9	46	29	35	31	23	5	38	167	57
DP4	C	9,6	6	11	10	47	30	35	32	24	7	38	171	59
DP4	C	9,8	5	10	9	46	29	35	32	23	6	38	169	59
DP4	C	10,0	8	12	11	49	31	35	32	26	9	39	175	62
DP4	C	10,2	7	12	11	49	31	35	32	25	8	39	175	63

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 52 di 89</p>
--	--

DP4	C	10,4	8	13	11	50	32	35	32	26	9	39	177	64
DP4	C	10,6	7	12	10	49	31	35	32	25	8	40	176	63
DP4	C	10,8	7	12	10	48	31	35	32	25	8	40	176	63
DP4	B	11,0	11	14	13	51	33	35	32	29	13	40	183	68
DP4	B	11,2	15	17	15	54	36	36	32	33	17	41	188	72
DP4	B	11,4	17	18	16	55	37	36	33	35	20	41	191	74
DP4	B	11,6	16	18	15	54	36	36	32	34	18	41	190	74
DP4	B	11,8	23	22	18	59	40	36	33	40	26	41	198	80
DP4	B	12,0	21	21	17	57	39	36	33	39	24	42	197	79
DP4	B	12,2	22	21	18	58	39	36	33	40	25	42	198	80
DP4	B	12,4	15	17	14	53	35	35	32	33	17	42	191	74
DP4	B	12,6	15	17	14	53	35	35	32	33	17	43	191	74
DP4	B	12,8	28	25	20	60	42	36	33	45	32	43	205	85
DP4	B	13,0	23	22	18	57	39	36	33	40	26	43	200	82
DP4	B	13,2	22	21	17	57	38	36	33	40	25	43	200	81
DP4	B	13,4	22	21	17	57	38	36	33	40	25	44	200	82
DP4	B	13,6	14	16	13	51	33	35	32	32	16	44	191	75
DP4	B	13,8	6	11	9	45	27	35	31	24	7	44	180	66
DP4	B	14,0	7	12	9	46	28	35	31	25	8	45	182	67
DP4	B	14,2	14	16	13	51	32	35	32	32	16	45	192	75
DP4	B	14,4	9	13	10	47	29	35	32	27	11	45	186	70
DP4	B	14,6	12	15	12	49	31	35	32	30	14	45	190	74
DP4	B	14,8	10	14	11	48	29	35	32	28	12	46	188	72
DP4	B	15,0	17	18	14	52	34	35	32	35	20	46	197	79

A	MAX	55,58	38,79	33,43	29,72	13,28	10,29	19,90	134,31	36,78
A	MIN	31,92	16,82	30,36	27,05	8,11	1,23	6,00	79,97	13,04
A	MEDIA	41,94	24,94	31,49	28,04	9,40	3,55	14,07	99,28	20,73

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 53 di 89</p>
--	--

B	MAX	66,42	52,19	37,06	33,89	42,38	28,19	33,93	179,94	66,01
B	MIN	52,57	37,50	33,25	29,57	11,98	8,04	20,35	147,21	44,18
B	MEDIA	60,09	45,02	35,56	32,04	27,34	19,47	27,32	165,47	56,04
C	MAX	52,42	35,54	35,59	32,33	27,26	10,49	39,91	177,14	63,97
C	MIN	45,76	28,73	34,80	31,50	21,59	3,55	34,29	161,73	53,33
C	MEDIA	48,71	31,52	35,12	31,84	25,00	7,75	37,17	170,66	59,41

Tabella 6.17 – DPSH4_2021: dati sperimentali e interpretazione delle prove.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 54 di 89</p>
--	--

Le tabelle su riportate mostrano i dati sperimentali ed interpretazione delle prove DPSH (DIN) e delle prove SPT eseguite nei sondaggi ubicati sull'area di progetto.

Il numero di colpi delle due prove DPSH è risultato mediamente pari a:

- TERRENO A: valore medi compresi $N_{SPT} = 3 - 7$;
- TERRENO B: valore medi compresi $N_{SPT} = 13 - 46$;
- TERRENO C: valore medi compresi $N_{SPT} = 5 - 6$;

Essendo le prove penetrometriche dinamiche utili ad ottenere solo il valore di carico alla punta q_c , si ritiene che siano più attendibili i valori di N_{SPT} ottenuti dai sondaggi:

- TERRENO A: valore medio $N_{SPT} = 8$;
- TERRENO B: valore medio $N_{SPT} = 18$;
- TERRENO C: valore medio $N_{SPT} = 24$;

Le misure mostrano un andamento crescente con la profondità fino al TERRENO B. Successivamente decresce sul TERRENO C.

La densità relativa presenta valori compresi tra:

- TERRENO A: $D_R = 33 \div 87\%$;
- TERRENO B: $D_R = 31 \div 99\%$;
- TERRENO C: $D_R = 36 \div 74\%$;

Di seguito si riportano i valori, al variare della profondità, dell'angolo di resistenza al taglio φ' . L'interpretazione delle misure penetrometriche SPT con le metodologie di Bolton, Schmertmann e DeMello fornisce i seguenti valori di φ' :

- TERRENO A valori compresi tra: $\varphi' = 25^\circ \div 36^\circ$;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 55 di 89</p>
--	--

- TERRENO B valori compresi tra: $\varphi' = 29^\circ \div 40^\circ$;
- TERRENO C valori compresi tra: $\varphi' = 31^\circ \div 35^\circ$;

I valori stimati per E' dalle prove penetrometriche SPT presentano una dispersione non trascurabile ed evidenziano un andamento lievemente crescente con la profondità.

Si osserva che lo scarto esistente tra i valori minimo e massimo su esposti è imputabile tanto dall'eterogeneità dei terreni afferenti ai litotipi (la variabilità delle caratteristiche di deformabilità è legata alla maggiore o minore predominanza locale della frazione sabbiosa, al contenuto di fine, ecc.) quanto all'impiego di molteplici correlazioni di letteratura.

Si noti, in particolare, come le relazioni di Jamiolkowski rappresentino, rispettivamente, un involucro limite superiore ed inferiore per la rigidezza del materiale. La legge di Jamiolkowski, sviluppata per depositi normalconsolidati, costituisce, dunque, un riferimento progettuale estremamente cautelativo nei confronti delle caratteristiche di rigidezza dei materiali.

Può assumersi:

- TERRENO A: $E' = 8 \div 18 MPa$;
- TERRENO B: $E' = 15 \div 29 MPa$;
- TERRENO C: $E' = 21 \div 36 MPa$.

I valori ottenuti del modulo di taglio operativo dalle prove dinamiche in sito (SPT e DIN) presenta il seguente intervallo:

- TERRENO A: $G_0 = 28 \div 42 MPa$;
- TERRENO B: $G_0 = 44 \div 100 MPa$;
- TERRENO C: $G_0 = 80 \div 117 MPa$;

Nella tabella seguente sono riportate anche le stime desunte per E'_5 , modulo elastico per deformazioni molto ridotte, valore tipicamente assunto in calcoli lineari elastici nell'ambito delle deformazioni attese per paratie e pali, sulla base della correlazione di letteratura proposta da Randolph:

- $E'_5 (MPa) = 2.6 \times N_{SPT}$.

Di seguito si riportano i dati sperimentali e l'interpretazione delle prove SPT effettuate:

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 56 di 89</p>
---	--

S n°	TERRENO	PROFONDITA media	N ₁	N ₂	N ₃	N _{SPT}	N _{SPT}	E'5 (MPa) Randolph
S17	A	2,23	3	7	15	22	22	57
S17	B	5,23	6	7	9	16	16	42
S17	B	8,43	12	9	11	20	20	52
S17	C	12,53	13	20	25	45	45	117
S17	C	15,23	27	22	30	52	52	135
S17	C	19,53	12	27	24	51	51	133
S17	C	23,73	28	34	42	76	76	198
S2	A	1,73	4	4	5	9	9	23
S2	B	3,23	10	R		R	100	
S2	B	6,23	25	16	24	40	40	104
S2	B	9,23	24	22	14	36	36	94
S2	B	12,23	48	6	R	R	100	
S2	B	15,23	21	24	20	44	44	114
S2	B	18,23	19	19	17	36	36	94
S2	C	21,23	16	17	20	37	37	96
S2	C	24,23	23	20	22	42	42	109
S2	B	27,23	17	16	16	32	32	83
S1CDH	B	3,23	7	9	13	22	22	57
S1CDH	B	6,23	9	12	17	29	29	75
S1CDH	B	9,23	12	17	21	38	38	99
S1CDH	B	12,23	9	10	12	22	22	57
S1CDH	B	15,23	12	26	38	64	64	166
S1CDH	B	18,23	15	22	31	53	53	138
S1CDH	B	21,23	11	14	22	36	36	94
S1CDH	C	24,23	11	21	25	46	46	120
S3CDH	A	1,73	3	3	4	7	7	18
S3CDH	B	3,23	4	9	6	15	15	39
S3CDH	B	4,73	6	7	11	18	18	47
S4CDH	B	3,23	11	14	19	33	33	86
S4CDH	B	6,23	9	15	27	42	42	109

Tabella 6.18 – risultati ottenuti del modulo elastico E'5 al variare della profondità.

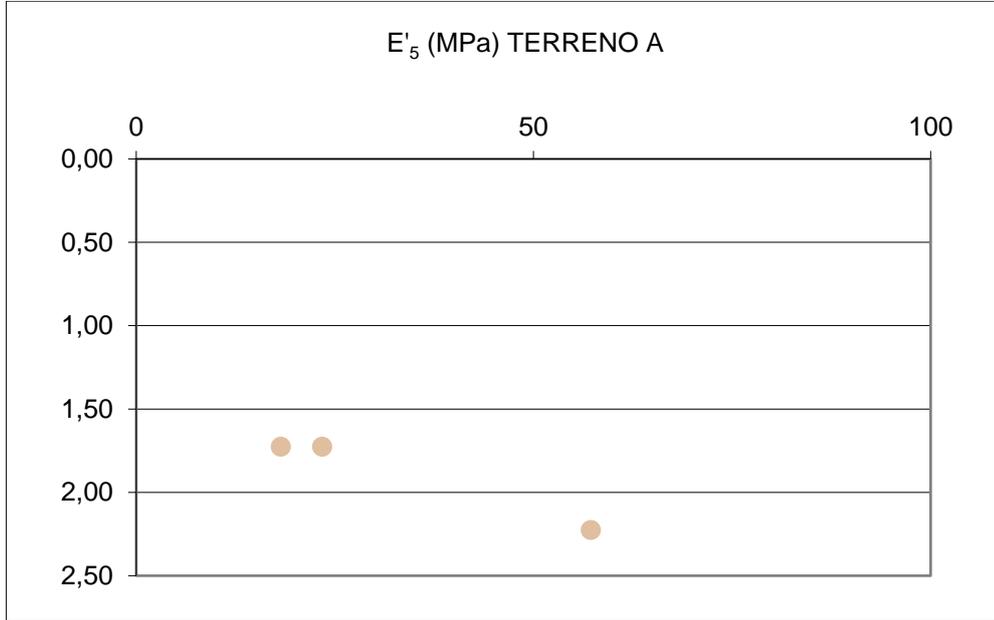


Figura 6.5 – TERRENO A: andamento del modulo elastico E'5 con la profondità z da p.c..

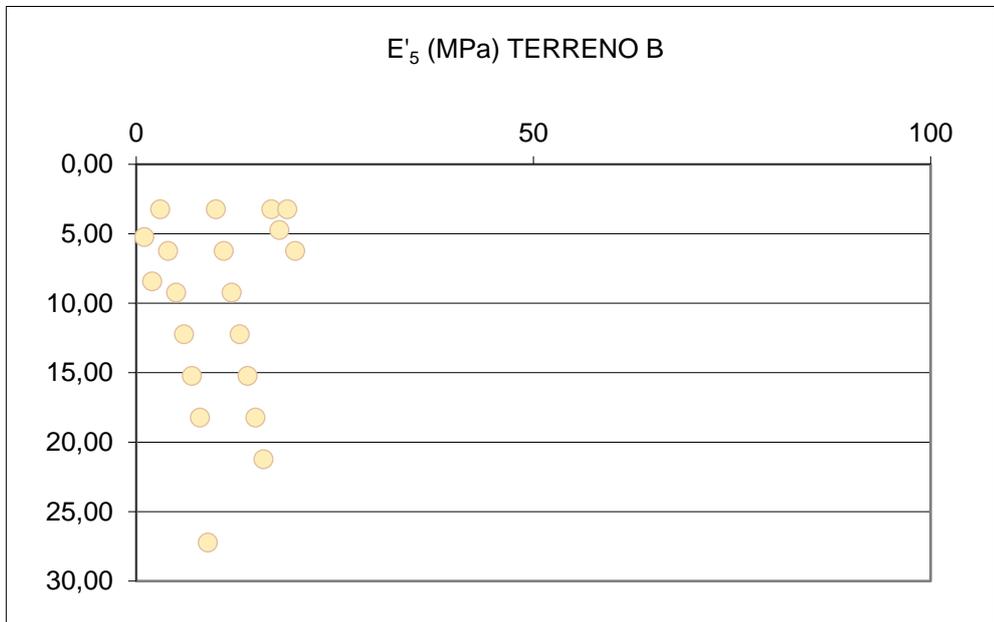


Figura 6.6 – TERRENO B: andamento del modulo elastico E'5 con la profondità z da p.c..

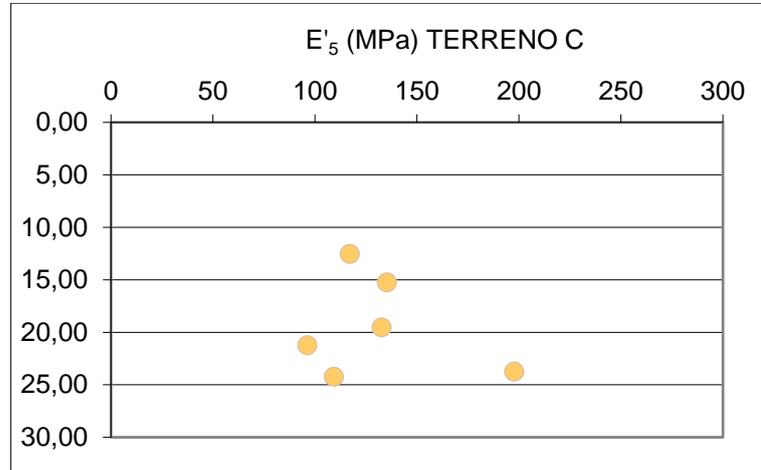


Figura 6.7 – TERRENO C: andamento del modulo elastico E'_5 con la profondità z da p.c..

Tale valore coincide, per le paratie, con il modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine E_{VC} .

Per il modulo elastico determinato nel tratto di scarico e ricarico, per le paratie può assumersi $E_{UR} = 1,6 \cdot E_{VC}$.

Risultano i seguenti valori medi:

TERRENO A	$E'_5 = E'_{vc}$	MAX	57,20
		MIN	18,20
		MEDIA	32,93

$E'_{ur} = 1,6 E'_{vc}$		53
---	--	----

TERRENO B	$E'_5 = E'_{vc}$	MAX	166,40
		MIN	39,00
		MEDIA	86,09

$E'_{ur} = 1,6 E'_{vc}$		138
---	--	-----

TERRENO C	$E'_5 = E'_{vc}$	MAX	197,60
		MIN	96,20
		MEDIA	129,63

$E'_{ur} = 1,6 E'_{vc}$		207
---	--	-----

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 59 di 89</p>
--	--

6.1.2 Indagini geofisiche

Sono state effettuate n.1 sismica in foro di tipo Down Hole e n.3 prove MASW.

Le prove sono state predisposte come strumento diagnostico di ricostruzione stratigrafica delle geometrie sepolte (spessori e superfici di contatto) in un assegnato volume di controllo e al fine di definire la classificazione sismica del sottosuolo per il calcolo dell'azione sismica di riferimento.

Le prospezioni sismiche hanno contribuito, infine, alla definizione dei parametri di rigidezza nel sottosuolo.

I risultati delle suddette indagini e le attribuzioni litologiche date ai sismostrati sono stati tarati a mezzo di un confronto incrociato con le stratigrafie di sondaggio, contribuendo essi stessi alla valutazione delle condizioni litostratigrafiche dei terreni di imposta del polo.

Riguardo i criteri di interpretazione, i valori dei moduli dinamici E_0 (di Young) e G_0 (di taglio) a piccole deformazioni vengono determinati a partire dai valori delle velocità delle onde trasversali V_s .

Per l'attribuzione dei parametri dinamici, si sono impiegate le seguenti relazioni, ricavabili dalla teoria dell'elasticità:

$$E_0 = 2 \cdot \gamma / g \cdot V_s^2 \cdot (1 + \nu) = 2 \cdot (1 + \nu) \cdot G_0$$

$$G_0 = \gamma / g \cdot V_s^2$$

dove ν è il modulo di Poisson.

Per la valutazione delle rigidezze operative del terreno da impiegare, si è assunta una deformazione assiale di riferimento ε_a pari a 0.1%. Tale deformazione unitaria è quella più accreditata da un'ampia raccolta di dati sperimentali su cedimenti di fondazioni superficiali e profonde come valore medio di deformazione nel volume significativo di terreno interessato (equivalente ad un'ampiezza dello sforzo di taglio $\gamma = 0.125\%$).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 60 di 89</p>
--	--

Le **prove in foro di tipo down hole (DH)** è stato eseguito lungo il foro attrezzato S1CDH profondo L=30m, con misura diretta della velocità di propagazione delle onde di compressione (V_P) e di taglio polarizzate orizzontalmente (V_{SH}).

Di seguito vengono analizzati i risultati unicamente in termini di onde di taglio. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione. Come noto, infatti, le onde P dipendono dalla rigidità volumetrica della fase liquida K_w . In presenza dei terreni saturi di interesse, il termine K_w risulta di vari ordini di grandezza più grande delle proprietà elastiche dello scheletro solido, cosicché V_P risulta prevalentemente controllata dalla rigidità volumetrica del fluido interstiziale.

**DOWN-HOLE
S1CDH Ottobre 2021**

Strato	prof.strato [m]			Spessore	Vp	Vs	v	γ	iniziali		operativi	
	da [m]	a [m]	media [m]						E ₀ [MPa]	G ₀ [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
2	0,0	2,0	1,0	2,0	338	221	0,13	2,00	225	100	23	10
4	2,0	4,0	3,0	2,0	696	379	0,29	2,00	756	293	76	29
6	4,0	6,0	5,0	2,0	846	371	0,38	2,00	775	281	78	28
8	6,0	8,0	7,0	2,0	796	334	0,39	2,00	635	228	63	23
10	8,0	10,0	9,0	2,0	805	534	0,11	2,00	1286	581	129	58
12	10,0	12,0	11,0	2,0	808	537	0,10	2,00	1300	589	130	59
14	12,0	14,0	13,0	2,0	738	489	0,11	2,00	1082	488	108	49
16	14,0	16,0	15,0	2,0	901	540	0,22	2,00	1450	595	145	59
18	16,0	18,0	17,0	2,0	902	603	0,96	2,00	2904	741	290	74
20	18,0	20,0	19,0	2,0	902	522	0,25	2,00	1387	556	139	56
22	20,0	22,0	21,0	2,0	903	428	0,36	2,00	1011	373	101	37
24	22,0	24,0	23,0	2,0	1086	580	0,30	2,00	1784	686	178	69
26	24,0	26,0	25,0	2,0	1081	711	0,12	2,00	2304	1029	230	103
28	26,0	28,0	27,0	2,0	1354	677	0,33	2,00	2493	935	249	94
30	28,0	30,0	29,0	2,0	1355	677	0,33	2,00	2494	936	249	94

Veq.30 462 m/s CATEGORIA B

Tabella 6.19 – Down Hole: elaborazione dati.

Il profilo della rigidità iniziale G_0 con la profondità determinato dall'interpretazione delle prove DH restituiscono valori crescenti con la profondità e relativamente congruenti con quelli delle prove SPT.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 61 di 89</p>
---	--

L'indagine **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) del 2021 è stata finalizzata alla ricostruzione del modello sismico monodimensionale del sottosuolo tramite la misura della velocità V_R delle onde superficiali di Rayleigh.

Per completezza, le MASW sono state utilizzate anche per la valutazione dei parametri di deformabilità.

MASW L2
(Aprile 2021)

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	ν [-]	γ [t/mc]	iniziali		statici	
	da [m]	a [m]	spess.[m]				E ₀ [MPa]	G ₀ [MPa]	E [MPa]	G [MPa]
1	0,0	0,9	0,9	122	0,20	1,90	69	29	21	9
2	0,9	2,2	1,3	143	0,20	1,90	95	40	29	12
3	2,2	6,7	4,5	218	0,20	1,90	221	92	66	28
4	6,7	12,5	5,8	302	0,20	1,90	424	177	127	53
5	12,5	20,9	8,4	278	0,20	1,90	359	150	108	45
6	20,9	27,7	6,8	332	0,20	1,90	512	213	154	64
7	27,7	30,0	2,3	369	0,20	1,90	633	264	190	79
				$V_{S,30}$	265	m/s	CATEGORIA C			

Tabella 6.20 – MASW L2 - Aprile 2021: elaborazione dati.

Dal profilo di velocità delle onde di taglio, si ottiene per $V_{S,30}$ il valore di 265 m/s, individuando un suolo di categoria C.

Per quanto riguarda le MASW1 e MASW2 eseguite nel Ottobre 2021 si ottiene per $V_{S,30}$ il valore di 474 m/s dalla MASW1 e il valore di 490 m/s dalla MASW2, individuando un suolo di categoria B.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 62 di 89</p>
--	--

MASW1 (Ottobre 2021)

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	γ [t/mc]	iniziali		statici		
	da [m]	a [m]	spess.[m]				E ₀ [MPa]	G ₀ [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	
1	0,0	1,0	1,0	203	0,20	1,90	192	80	57	24	
2	1,0	2,3	1,3	228	0,20	1,90	242	101	72	30	
3	2,3	4,0	1,7	247	0,20	1,90	284	118	85	35	
4	4,0	5,4	1,4	252	0,20	1,90	295	123	89	37	
5	5,4	6,5	1,1	295	0,20	1,90	405	169	121	51	
6	6,5	7,2	0,7	346	0,20	1,90	556	232	167	70	
7	7,2	10,0	2,8	650	0,20	1,90	1964	818	589	245	
8	10,0	15,0	5,0	670	0,20	1,90	2087	869	626	261	
9	15,0	20,0	5,0	640	0,20	1,90	1904	793	571	238	
10	20,0	25,0	5,0	660	0,20	1,90	2025	844	607	253	
11	25,0	30,0	5,0	680	0,20	1,90	2149	896	645	269	
				Ve_{q,30}	474	m/s	CATEGORIA B				

Tabella 6.21 MASW 1 - Ottobre 2021: elaborazione dati.

MASW2 (Ottobre 2021)

Strato	prof.strato [m]			Vs [m/s]	v [-]	γ [t/mc]	iniziali		statici		
	da [m]	a [m]	spess.[m]				E ₀ [MPa]	G ₀ [MPa]	E [MPa]	G [MPa]	
1	0,0	0,9	0,9	219	0,20	1,90	223	93	67	28	
2	0,9	1,8	0,9	193	0,20	1,90	173	72	52	22	
3	1,8	3,0	1,2	184	0,20	1,90	157	66	47	20	
4	3,0	5,2	2,2	290	0,20	1,90	391	163	117	49	
5	5,2	6,8	1,6	274	0,20	1,90	349	145	105	44	
6	6,8	7,8	1,0	258	0,20	1,90	309	129	93	39	
7	7,8	10,0	2,2	790	0,20	1,90	2901	1209	870	363	
8	10,0	15,0	5,0	780	0,20	1,90	2828	1178	848	354	
9	15,0	20,0	5,0	750	0,20	1,90	2615	1089	784	327	
10	20,0	25,0	5,0	780	0,20	1,90	2828	1178	848	354	
11	25,0	30,0	5,0	790	0,20	1,90	2901	1209	870	363	
				Ve_{q,30}	490	m/s	CATEGORIA B				

Tabella 6.22 MASW 2 - Ottobre 2021: elaborazione dati.

In definitiva a vantaggio di sicurezza si considera una **categoria del sottosuolo tipo C**.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 63 di 89</p>
---	--

6.1.3 Prove di carico su piastra

Nel corso delle sperimentazioni svolte durante la campagna del 2021, sono state eseguite n.5 prove nell'Ottobre 2021 e n.2 prove nell'Aprile 2021 di carico su piastra statica PLT con cicli di carico-scarico e ricarico, finalizzate a verificare la natura e lo stato dei materiali costituenti i futuri terreni di impianto delle opere da realizzare ed il raggiungimento dei limiti di capitolato. In particolare, a tali prove si è affidato il compito di investigare le caratteristiche di deformabilità dei terreni di imposta delle opere in alcuni punti di particolare interesse e di ottimizzare le valutazioni ascrivibili alla presente fase di progettazione circa gli aspetti inerenti la bonifica in corrispondenza della viabilità (vedi paragrafo della bonifica del piano di posa).

L'ubicazione delle prove eseguite viene illustrata in Figura 6.8.

L'interpretazione delle prove avviene conformemente ai criteri definiti nel seguito.

La stima del modulo elastico E' è avvenuta in accordo con la seguente relazione, basata sull'ipotesi di mezzo elastico isotropo ed omogeneo:

$$E' = 0.785 \cdot (1 - \nu^2) \cdot M_d$$

dove:

$$M_d = \frac{\Delta p}{\Delta s} D \text{ modulo di deformazione}$$

$$\Delta p = \text{gradino di carico entro cui valutare i cedimenti}$$

$$\Delta s = \text{cedimento differenziale della piastra corrispondente a } \Delta p$$

$$D = \text{diametro della piastra (298.5mm)}$$

ν = coefficiente di Poisson del terreno, esprimibile in funzione dell'angolo di attrito come:

$$\nu = \frac{1 - \sin \phi'}{2 + \sin \phi'}$$

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSAI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 64 di 89</p>
---	--

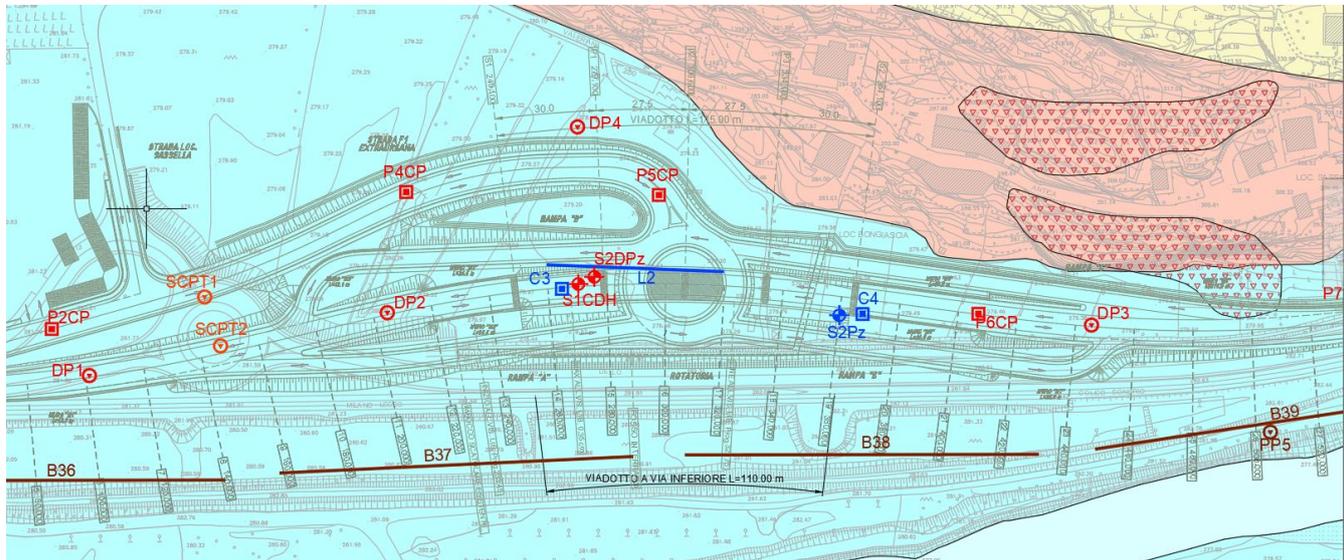


Figura 6.8 – Planimetria ubicazione prove di carico su piastra.

Inoltre, dalle risultanze delle prove su piastra, viene verificato che, conformemente alle specifiche di capitolato, il modulo di deformazione $M_{d,I}$, misurato al primo ciclo di carico. Inoltre, dalle risultanze delle prove su piastra, viene verificato che, conformemente alle specifiche di capitolato, il modulo di deformazione $M_{d,I}$, misurato al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.05 MPa – 0.15 MPa, non sia inferiore a 20 MPa e inoltre che il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo $M_{d,I} / M_{d,II}$ sia non inferiore a 0.60 (CNR-BU n. 146).

Nelle tabelle seguenti vengono riepilogati gli esiti delle prove.

Va notato, innanzitutto, che le prove sono state eseguite a profondità importanti variabili tra - 0.8m – 1,0. Tranne il pozzetto P4CP su cui è stata effettuata la prova a -0,2m (terreno vegetale).

Si osserva che tutte le prove non hanno restituito valori che rispettano i requisiti prestazionali minimi stabiliti nel capitolato tecnico ($M_{d,I} \cong 20MPa$),

Risulta, inoltre, che il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo $M_{d,I} / M_{d,II}$ sono stati inferiori a 0.60 (cfr. Figura 6.10), dunque **risultando non soddisfatte le prescrizioni di capitolato.**

Sulla base di tali risultati ed in considerazione delle stratigrafie dei sondaggi, che hanno evidenziato spessori di terreno vegetale e terreno di posa del rilevato non idonei per spessori

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 65 di 89</p>
--	--

in media di 0,80m÷1,00m, viene prevista progettualmente la bonifica di tali spessori in corrispondenza della viabilità (vedi paragrafo della bonifica del piano di posa).

Ne consegue, quindi, che lo spessore di bonifica complessivamente viene eseguito asportando 1.50m di terreno da p.c.. Viene prima asportato lo strato vegetale e successivamente viene eseguito lo scavo fino a profondità stabilita per la bonifica. Complessivamente vengono asportati 0.20m+1.30m= 1.50m di terreno da p.c..

Dall'interpretazione delle prove di carico su piastra statica PLT si ottengono, inoltre, valori del modulo elastico per il TERRENO A riportati nelle tabelle seguenti.

		Z (m)	Md (Mpa)	E' (Mpa)	Md/Md'
C3_Aprile 2021	C3	-0,6	6,2	3,1	0,05
C4_Aprile 2021	C4	-0,8	10,9	5,5	0,11
P2CP	P2	-0,9	51,7	19,9	0,41
P4CP	P4	-0,2	3,4	1,3	0,08
P6CP	P6	-0,8	3,2	1,2	0,10
P8CP	P8	-0,8	5,8	2,2	0,08
P10CP	P10	-1	3,3	1,3	0,10
		MEDIA	12,1	4,9	0,1

Tabella 6.23 - Prove di carico su piastra statiche PLT: valori significativi delle prove sui pozzetti.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 66 di 89</p>
--	--

D	300 mm				
Δp	0,1 N/mm ²				
Piastra	-	C3_Aprile 2021	Piastra	-	C4_Aprile 2021
Pozzetto	-	C3	Pozzetto	-	C4
Profondità	m da p.c.	-0,6	Profondità	m da p.c.	-0,8
Terreno di prova	-	TERRENO A	Terreno di prova	-	TERRENO A
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	1	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,72
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	5,83	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	3,48
Δs	mm	4,83	Δs	mm	2,76
M_d	MPa	6,2	M_d	MPa	10,9
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	14,4	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	10,2
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	14,62	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	10,49
$\Delta s'$	mm	0,22	$\Delta s'$	mm	0,29
M_d'	MPa	136,4	M_d'	MPa	103,4
M_d/M_d'	-	0,05	M_d/M_d'	-	0,11
ν	-	0,2	ν	-	0,2
k_w	kg/cm ³	45,5	k_w	kg/cm ³	34,5
E'	MPa	3,1	E'	MPa	5,5

Tabella 6.24 - Prove di carico su piastra statiche PLT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Aprile 2021).

Piastra	-	P2CP	Piastra	-	P4CP	Piastra	-	P6CP
Pozzetto	-	P2	Pozzetto	-	P4	Pozzetto	-	P6
Profondità	m da p.c.	-0,9	Profondità	m da p.c.	-0,2	Profondità	m da p.c.	-0,8
Terreno di prova	-	TERRENO A	Terreno di prova	-	Terreno Vegetale	Terreno di prova	-	TERRENO A
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,22	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,63	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,83
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	0,8	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	9,36	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	10,23
Δs	mm	0,58	Δs	mm	8,73	Δs	mm	9,4
M_d	MPa	51,7	M_d	MPa	3,4	M_d	MPa	3,2
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,7	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	13,93	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	15,01
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	0,94	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	14,63	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	15,93
$\Delta s'$	mm	0,24	$\Delta s'$	mm	0,7	$\Delta s'$	mm	0,92
M_d'	MPa	125,0	M_d'	MPa	42,9	M_d'	MPa	32,6
M_d/M_d'	-	0,41	M_d/M_d'	-	0,08	M_d/M_d'	-	0,10
ν	-	0,3	ν	-	0,3	ν	-	0,3
k_w	kg/cm ³	41,7	k_w	kg/cm ³	14,3	k_w	kg/cm ³	10,9
E'	MPa	19,9	E'	MPa	1,3	E'	MPa	1,2

Tabella 6.25 - Prove di carico su piastra statiche PLT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Ottobre 2021).

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 67 di 89</p>
--	--

Piastra	-	P8CP	Piastra	-	P10CP
Pozzetto	-	P8	Pozzetto	-	P10
Profondità	m da p.c.	-0,8	Profondità	m da p.c.	-1
Terreno di prova	-	TERRENO A	Terreno di prova	-	TERRENO A
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	1,64	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	0,72
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	6,85	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	9,75
Δs	mm	5,21	Δs	mm	9,03
M_d	MPa	5,8	M_d	MPa	3,3
$S_{0,05N/mm^2}$	mm	9,34	$S_{0,05N/mm^2}$	mm	14,11
$S_{0,15N/mm^2}$	mm	10,11	$S_{0,15N/mm^2}$	mm	14,94
$\Delta s'$	mm	0,77	$\Delta s'$	mm	0,83
M_d'	MPa	39,0	M_d'	MPa	36,1
M_d/M_d'	-	0,15	M_d/M_d'	-	0,09
ν	-	0,3	ν	-	0,3
k_w	kg/cm ³	13,0	k_w	kg/cm ³	12,0
E'	MPa	2,2	E'	MPa	1,3

Tabella 6.26 - Prove di carico su piastra statiche PLT: dati sperimentali e interpretazione delle prove (Ottobre 2021).

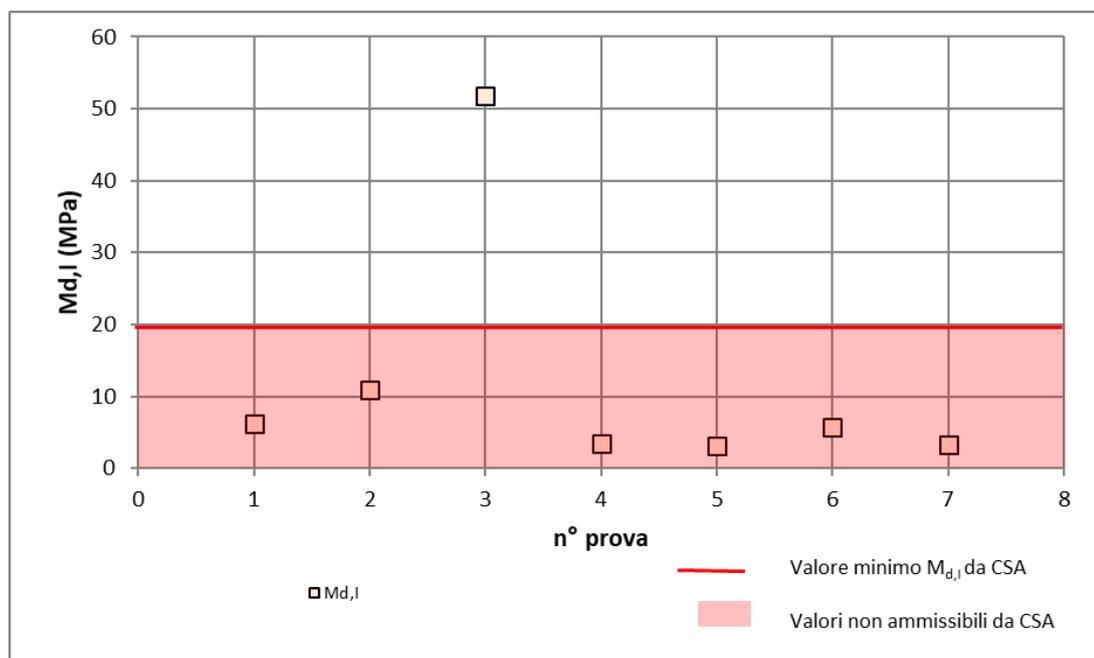


Figura 6.9 - Prove di carico su piastra statiche PLT: moduli di primo carico $M_{d,1}$.

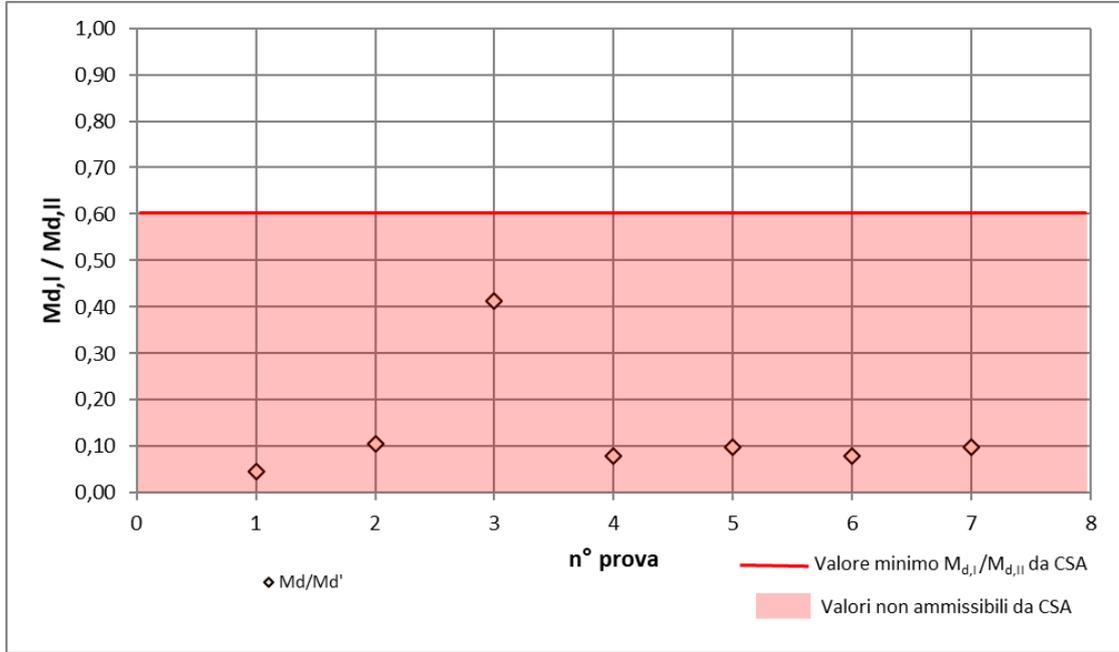


Figura 6.10 - Proves di carico su piastra statiche PLT: rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo $M_{d,I}/M_{d,II}$.

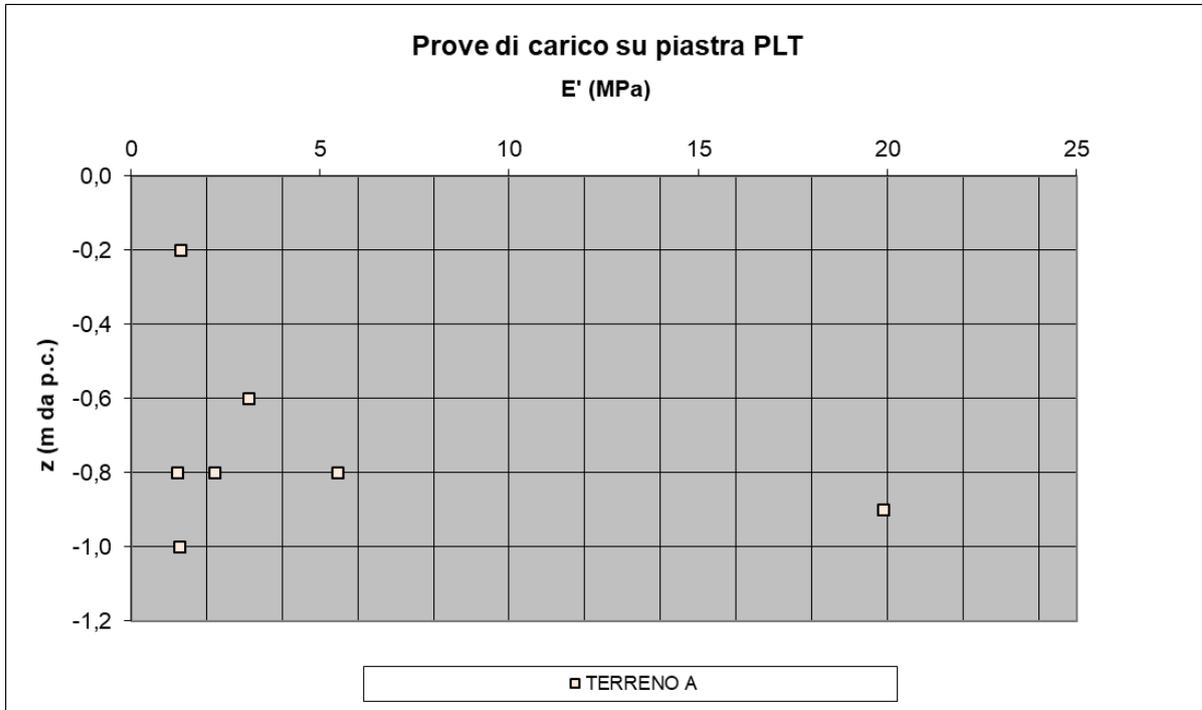


Figura 6.11 – Proves di carico su piastra statiche PLT: andamento con la profondità dei valori di E' .

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO"</p> <p>LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 69 di 89</p>
--	--

6.2 Prove di laboratorio

Sono discussi nel seguito i dati di prova ottenuti in laboratorio per i parametri più significativi relativi alle proprietà fisiche, indice e meccaniche del terreno e ne è elaborata una valutazione media complessiva.

I risultati relativi alle caratteristiche fisiche, indice e granulometriche dei materiali prelevati in avanzamento con la perforazione di sondaggio sono riepilogati in forma numerica nelle tabelle successive. rispettivamente per il TERRENO A, TERRENO B e TERRENO C.

S n°	C n°	LITOLOGIA A.G.I.	TERRENO	PROFONDITA'			γ kN/m ³	γ_d kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	γ_s kN/m ³	W _n %	e _o	n %	S _R %	GRANULOMETRIA			
				da m	a m	media									G %	S %	L %	A %
S2_Aprile 2021	CR1	Sabbia con limo	A	1,50	2,00	1,75				27					2	59	36	3
S2_Aprile 2021	CR2	Ghiaia con sabbia debolmente limoso	B	3,00	3,50	3,25				27					58	30	10	2
S2_Aprile 2021	CI1	Sabbia limosa	C	21,00	21,50	21,25	19,80	18,71	21,78	27,00	6	0,44	0,31	35				
S1CDH	CR1	Sabbia con limo, debolmente argilloso	A	1,50	2,00	1,75				27,31					0	50	43	7
S1CDH	CR2	Ghiaia con sabbia	B	4,50	5,00	4,75				27					62	33	4	1
S1CDH	CR5	Ghiaia con sabbia, debolmente limosa	B	15,00	15,50	15,25				27					61	33	5	1
S1CDH	CR8	Ghiaia con sabbia, limosa	C	25,00	26,00	25,50				27,41					42	44	12	2
S3CPz	CR2	Ghiaia con sabbia, limosa	B	4,00	4,50	4,25				27,00					57	32	9	2
S3CPz	CS1	Sabbia con limo	A	2,00	2,50	2,25	19,66	16,48	20,38	27,00	19	0,64	0,39	80	4	54	37	5
S4C	CA2	Sabbia com limo debolmente ghiaioso	A	2,00	2,50	2,25	20,11	17,29	20,92	27,12	16	0,57	0,36	76	8	47	39	6

Tabella 6.27 – TERRENO A e B: parametri fisici, caratteristiche di plasticità e granulometriche

Si tenga debitamente in conto che le prove di laboratorio eseguite sull'unico campione indisturbato CI1 del sondaggio S4 si trova ad una profondità di estrazione (5,50m circa). Si nota dalle stratigrafie di sondaggio che il campione è stato estratto all'interno del litotipo ghiaioso. Probabilmente è stata intercettata una lente a matrice argillosa di spessore irrilevante e che quindi non viene tenuta in considerazione nel complesso interpretativo della stratigrafia geotecnica.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 70 di 89</p>
--	--

Di seguito si analizzano le prove di taglio, edometrica e di espansione laterale libera eseguite sui campioni indisturbati della campagna di indagine dell'Ottobre 2021.

I parametri di resistenza al taglio di picco in termini di tensioni efficaci (ϕ' e c') sono stati determinati dall'elaborazione di prove di taglio diretto DS.

Le prove di taglio diretto sono state interpretate secondo le seguenti metodologie:

- METODO 1: vengono riportati i valori ottenuti interpolando sul piano di Mohr $\sigma'_a - \tau$, si determinano le tre coppie di valori tensione normale-tensione a rottura.
- METODO 2: si è proceduto anche a "montare" contestualmente sul piano di Mohr, in corrispondenza dei valori delle tensioni di consolidazione, il valore delle tensioni a rottura per il provino a disposizione. Si procede poi, con un'unica operazione di fitting lineare, all'individuazione dell'involuppo di rottura e alla stima delle caratteristiche di resistenza medie per il terreno indagato.

S n°	C n°	PROFONDITA'			TERRENO	tensione consolid. (kPa)			tensione a rottura (kPa)			DS	
						PROVINO			PROVINO			c' kPa	ϕ' °
						1	2	3	1	2	3		
S2_Aprile 2021	CI1	21,00	21,50	21,25	C	100	200	400	96	184	323	26,5	36,8
S3CPz	CS1	2,00	2,50	2,25	A	100	200	400	74	142	244	23,0	29,2
S4C	CA2	2,00	2,50	2,25	A	100	200	400	66	134	227	19,5	27,8

Tabella 6.28 – Dati della prova di taglio diretto DS e interpretazione "METODO 1".

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

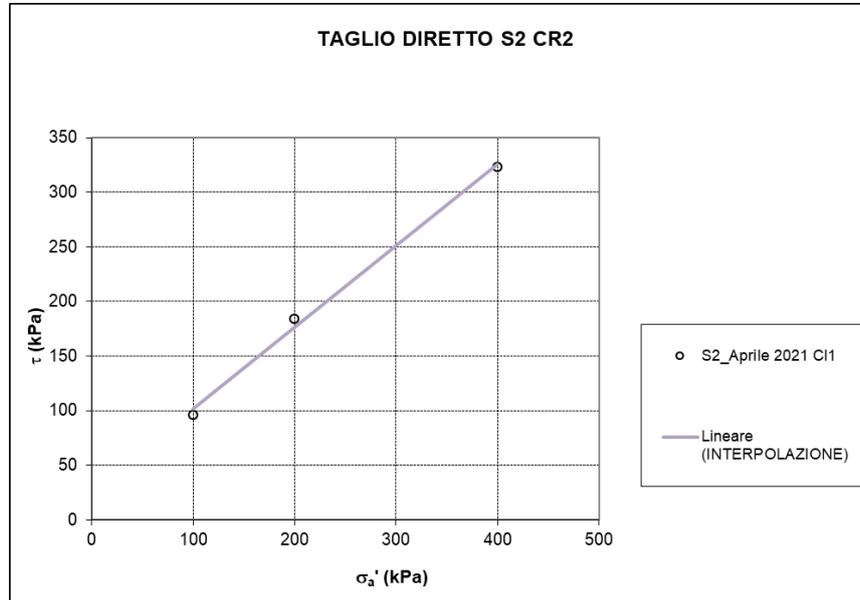


Figura 6.12 – Campione C11 (S2_Aprile 2021) : prove di taglio diretto DS, interpretazione “METODO 2”

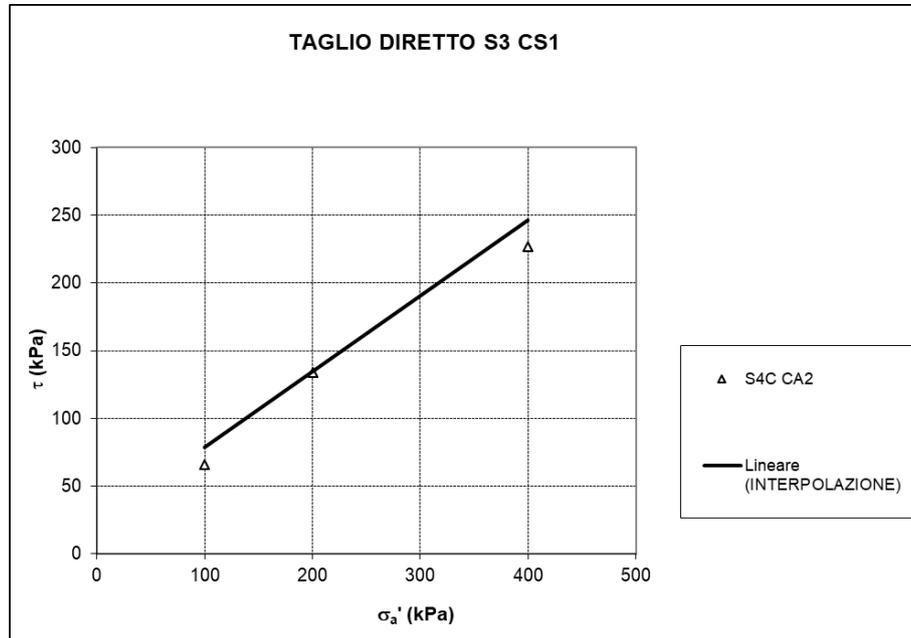


Figura 6.13 – Campione CS1 (S3CPz) : prove di taglio diretto DS, interpretazione “METODO 2”

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 72 di 89</p>
--	--

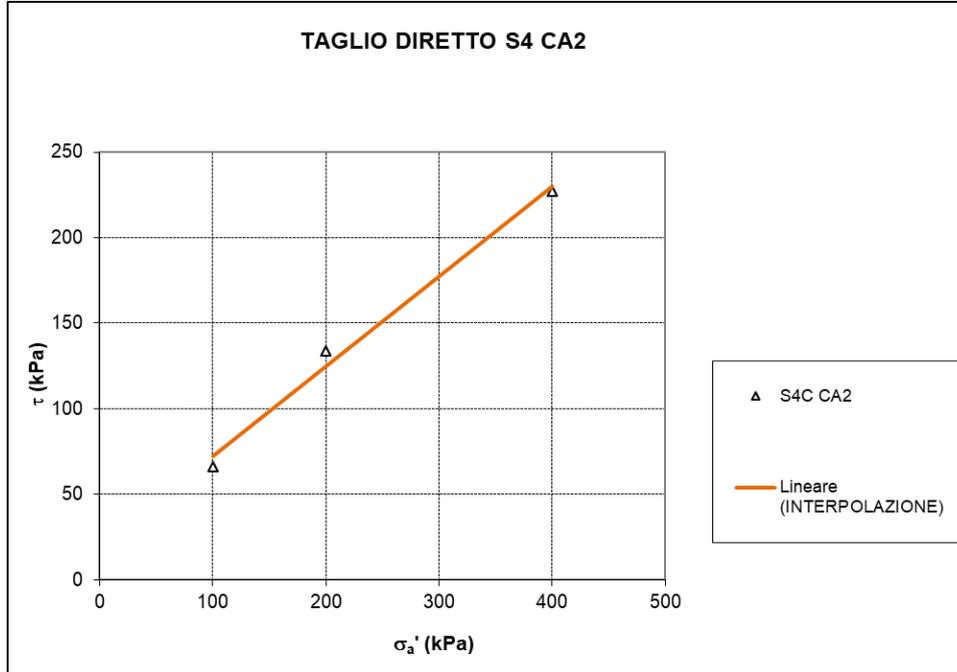


Figura 6.14 – Campione CA2 (S4C) : prove di taglio diretto DS, interpretazione “METODO 2”

La resistenza al taglio in condizioni non drenate S_u nei livelli coesivi è stata determinata sperimentalmente in laboratorio mediante l'esecuzione di una prova ad espansione laterale non confinata ELL.

I dati di prova e l'interpretazione della prova di compressione sono contenuti in Tabella 6.29.

S n°	C n°	PROFONDITA'			TERRENO	PROVINO	ELL	
		da m	a m	media			σ_1 kPa	S_u kPa
S3CPz	CS1	2	2,5	2,25	A	1	324	162

Tabella 6.29 – Prova ad espansione laterale libera ELL.

Per la determinazione delle caratteristiche di compressibilità si fa riferimento al comportamento dei materiali osservato nelle prove di compressione edometrica.

I principali risultati della prova sono sintetizzati in nella tabella seguente, l'andamento della curva di compressibilità è riportato in figura seguente. I valori di OCR risulta 1.8, indice di materiali da debolmente sovraconsolidati.

C_v risulta compreso nell'intervallo $1 \times 10^{-2} \div 3.02 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{s}$.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 73 di 89</p>
---	--

Con riferimento ai livelli tensionali di interesse, la permeabilità k risulta variabile nell'intervallo $1 \times 10^{-7} \div 8,2 \times 10^{-7}$ cm/s.

Il modulo edometrico E_{ed} l'asse delle ordinate con le σ'_v viene riportato in scala logaritmica per esaltare i gradini di carico fino a 200kPa, rappresentativi dei livelli tensionali propri delle problematiche di interesse), valutato nell'intervallo tensionale all'interno del quale ricade la tensione verticale efficace indotta dai carichi di progetto, presenta valori compresi fra 3 e 9 MPa circa, indice di caratteristiche di rigidità mediocri.

S4C_CS2			tens.di prova σ'_v	$\log(\sigma'_v)$	ΔH	ε_v	e	Eed	Cv	k
			(kPa)		(mm)	(%)		(MPa)	(cm ² /s)	(cm/s)
z prelievo	2,25	m								
γ_0	20,1	kN/m ³								
H ₀	20,000	mm								
e ₀	0,740		25	1,398	0,184	0,920	0,724			
H _f	11,494	mm	50	1,699	0,355	1,775	0,709			
e _r	0,500		100	2,000	0,627	3,135	0,685	3,68	3,02E-02	8,21E-07
σ'_v	45	kPa	200	2,301	1,020	5,100	0,651	5,09	2,37E-02	4,66E-07
c _c	0,217		400	2,602	1,455	7,275	0,613	9,20	1,31E-02	1,42E-07
c _{s1}	0,030		800	2,903	2,003	10,015	0,566			
σ'_p	80	kPa	1600	3,204	2,625	13,125	0,512			
OCR	1,8		3200	3,505	3,377	16,885	0,446			
			800	2,903	3,229	16,145	0,459			
			200	2,301	3,007	15,035	0,478			
			50	1,699	2,754	13,770	0,500			
			25	1,398	2,587	12,935	0,515			

Tabella 6.30 – Prove edometriche OED.

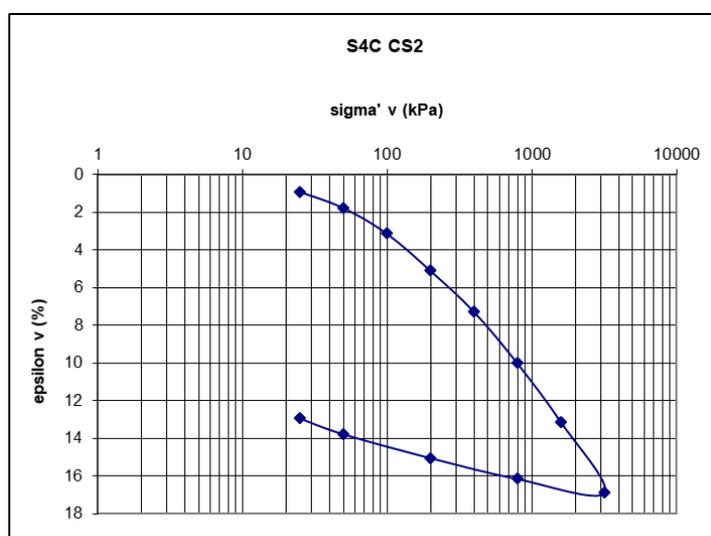


Figura 6.15 – prova edometrica: curva di compressibilità.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 74 di 89</p>
---	--

6.3 Caratterizzazione dell'ammasso

Parallelamente all'interpretazione delle prove di laboratorio (dal lato della Meccanica delle Terre), si è ritenuto caratterizzare l'ammasso delle Scisti di Edolo, una parte marginale significativa che va ben al di fuori del piano di posa delle fondazioni del viadotto di progetto, con i criteri della Meccanica delle Rocce.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i principali risultati delle prove di laboratorio effettuate per la caratterizzazione meccanica del litotipo.

Le prove di compressione monoassiale eseguite sui campioni litoidi dei sondaggi S3CPz CL4, CL5 e S4C CL5, hanno restituito i valori di resistenza riportati in tabella.

						Compressione monoassiale
S	C	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	PROFONDITA'	γ_n	σ_c
n°	n°	-	-	m	kN/m ³	MPa
S3CPz	CL4	D	Scisti di Edolo	7,25	29,68	37,5
S3CPz	CL5	D	Scisti di Edolo	12,90	29,78	36,0
S4C	CL5	D	Scisti di Edolo	8,90	28,94	6,9
			MAX			
			MIN			
			MEDIA		29,5	$\sigma_{c,UCS}$ 26,8

Tabella 6.31 – Scisti di Edolo: prova di compressione monoassiale.

Per l'attribuzione della costante del criterio di rottura di Hoek-Brown m_i si è fatto affidamento su dati di letteratura. Per rocce arenarie in oggetto il Bruschi (2004) riporta i valori suggeriti da Hoek, $m_i = 12 \pm 3$.

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

Rock Type	Mi Value	Standard Deviation
Migmatite	29	± 3
Norite	20	± 5
Obsidian	19	± 3
Peridotite	25	± 5
Phyllites	7	± 3
Porphyries	20	± 5
Quartzites	20	± 3
Rhyolite	25	± 5
Sandstones	17	± 4
Schists	12	± 3
Shales	6	± 2
Siltstones	7	± 2
Slates	7	± 4
Sparitic Limestones	10	± 2
Tuff	13	± 5

Tabella 6.32 – Valori di m_i corrispondente alla tipologia di Roccia Litoide.

Le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso dipendono sia dalle caratteristiche del materiale roccioso intatto che dalle discontinuità presenti.

I parametri di resistenza dell'ammasso sono stati valutati in accordo con la metodologia di Hoek e Brown (1994).

Essa adotta il seguente criterio di resistenza:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{c_i} \left[m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{c_i}} + s \right]^a$$

in cui:

- σ_1 è la massima tensione principale efficace;
- σ_3 è la minima tensione principale efficace;
- σ_{c_i} è la resistenza a compressione semplice per un provino standard intatto;
- m_b , s , a sono costanti caratteristiche di ciascun tipo di ammasso, determinate in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, espressa sinteticamente dall'indice GSI (si veda, ad esempio, "Practical guide of rock engineering", Hoek, 2006).

Il passaggio ai parametri coesione c' e angolo di resistenza al taglio ϕ' del criterio di resistenza di Mohr-Coulomb è possibile a mezzo di un processo di inversione

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 76 di 89</p>
--	--

dell'interpolazione lineare della curva generata dalla soluzione dell'equazione risolvente per il criterio di resistenza, con la procedura proposta dallo stesso Hoek (2002) ed implementata nel programma RocLab.

Poiché il criterio di Hoek e Brown esprime una correlazione fra resistenza al taglio del materiale e pressione di confinamento di tipo marcatamente non lineare, i valori di c' e ϕ' variano in funzione dello sforzo normale efficace agente.

Si è dunque adottato un approccio interpretativo che fornisce i parametri di resistenza ($c'-\phi'$) mediati all'interno di un appropriato campo di tensione principale minore σ_3 , piuttosto che restituire i parametri di resistenza a taglio "istantanei" di Mohr-Coulomb, legati allo specifico livello tensionale individuato sulla curva di rottura dal valore di tensione σ_1 .

Per la definizione del limite superiore della tensione di confinamento σ_{3MAX} ci si è riferiti allo specifico problema di scavi e fondazioni superficiali (le stesse adottate per le spalle del ponte di progetto):

$$\sigma_{3MAX} = 0.72 \cdot \sigma'_{cm} \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma \cdot H} \right)^{-0.91},$$

dove σ'_{cm} è la resistenza dell'ammasso, γ è il peso unitario dell'ammasso, H è l'altezza dello scavo.

Per l'equazione risolvente per la determinazione di σ'_{cm} , si rimanda al riferimento bibliografico Hoek, E. and Brown, E.T. 1988. The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (ed. J.C. Curran), 31-38. Toronto, Dept. Civil Engineering, University of Toronto.

Sempre a mezzo del programma RocLab, sono stati ottenuti i valori del modulo di deformazione d'ammasso E_d determinati dall'approccio di Hoek & Brown, calcolati come (Hoek e Diederichs, 2006):

$$E_d = E_i \cdot \left(0.02 + \frac{1 - \frac{D}{2}}{1 + e^{\frac{60 + 15D - GSI}{11}}} \right) \quad [MPa].$$

Il modulo elastico della roccia intatta E_i è stato stimato sulla base della classificazione di Deere e Miller (1966), che esprime il modulo in funzione della resistenza a compressione σ_{c_i} .

In particolare, viene assunta a riferimento la retta limite inferiore individuata dagli Autori per litotipi tipo arenarie sulla base di dati raccolti da esperienze dirette:

$$E_i = 425 \cdot \sigma_{c_i}.$$

Per la determinazione del parametro GSI (Geological Strength Index), grandezza collegata ai fattori m , a ed s della metodologia di Hoek e Brown (1994), impiegata per la definizione dei parametri di resistenza dell'ammasso con il programma RocLab, in mancanza di prove RQD, si è fatto uso della tabella grafica realizzata da Marinos & Hoek.

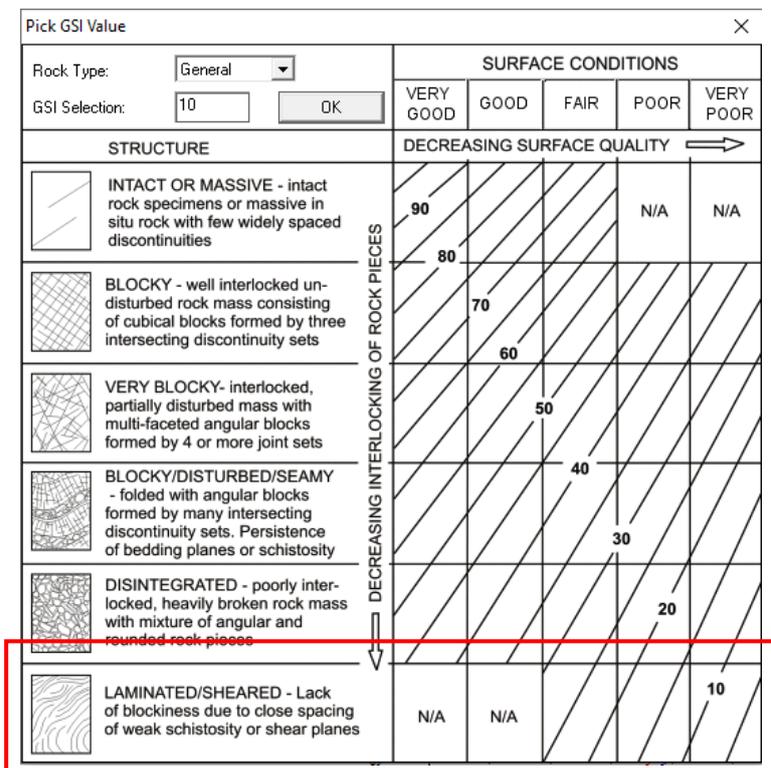


Figura 6.16 – Determinazione del GSI per rocce.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 78 di 89</p>
--	--

Sulla base dei dati analizzati in precedenza, sono stati individuati degli intervalli di variazione di riferimento per i parametri di ammasso, sintetizzati nelle tabelle seguenti

		Flysch S.B.
Peso di Volume γ (kN/m ³)		29.5
Classificazione Hoek-Brown	GSI	10
	m_i	3-12
	$\sigma_{c,i}$ (MPa)	25
	E_i (GPa)	10.0

Tabella 6.33 – FLY S.B.: intervalli di variazione dei parametri d'ammasso Hoek-Brown.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 79 di 89</p>
--	--

Le analisi eseguite con il programma RocLab sono state svolte, inoltre, con riferimento a:

- profondità H pari a 5m (rappresentativa della profondità di contatto con l'ammasso);
- fattore di disturbo $D = 0.7$, scelta ottenuta dalle caratteristiche scistose dell'ammasso.

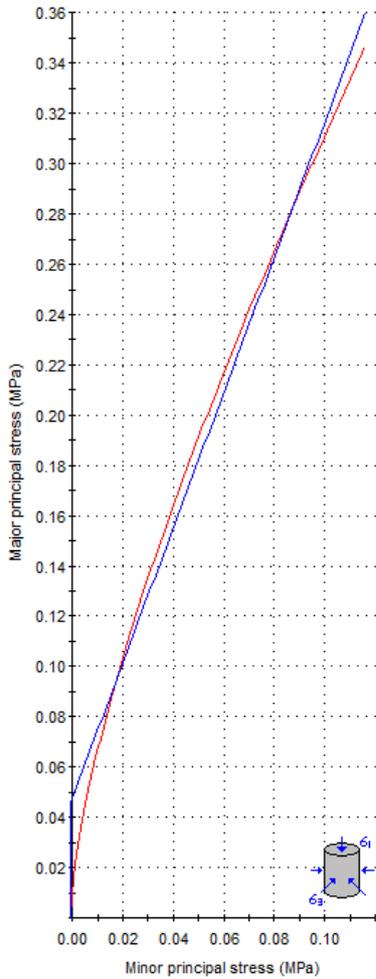
Nel seguito sono riprodotti gli involucchi di rottura ottenuti con il programma RocLab sia nel piano delle tensioni principali ($\sigma_1 - \sigma_3$) che nel piano di Mohr ($\tau - \sigma_n$).

La curva che definisce l'involucro di rottura esaminato è affiancata dal limite di rottura a bilatera (in blu), che definisce nel campo tensionale di riferimento (nello specifico pari a $\sigma_3 = [0 \div \sigma_{3,MAX}] = [0 \div 0.1162MPa]$), in maniera univoca, la coppia dei parametri di resistenza a taglio.

La coppia di parametri di resistenza a taglio c' e ϕ' individuata dalla poligonale bilatera è pari a 15kPa e 27° circa. Il valore del modulo di deformazione d'ammasso E_d determinato dall'approccio di Hoek & Brown è $E_d \cong 240MPa$ circa.

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (σ_{ci}) = 25 MPa
GSI = 10 m_i = 10 Disturbance factor (D) = 0.7
intact modulus (E_i) = 10625 MPa
modulus ratio (MR) = 425

Hoek-Brown Criterion

m_b = 0.071 s = 2.16e-6 a = 0.585

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.015 MPa friction angle = 27.23 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.001 MPa
uniaxial compressive strength = 0.012 MPa
global strength = 0.479 MPa
deformation modulus = 240.61 MPa

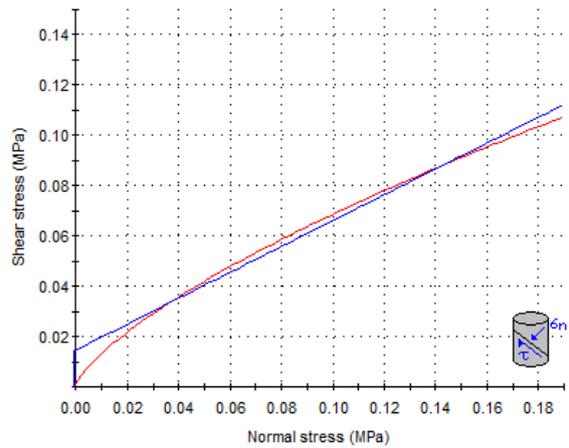


Figura 6.17 – Scisti di Edolo: involucro di rottura nel piano delle tensioni principali (Hoek & Brown) e nel piano di Mohr.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 81 di 89</p>
---	--

6.4 Sismicità dell'area

Si riportano nelle tabelle seguenti i valori delle principali grandezze sismiche per il sito di progetto ricavate dalla caratterizzazione di pericolosità sismica del sito relativamente al periodo di ritorno T_R associato allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, riferendosi ai valori corrispondenti alle coordinate geografiche del sistema WG84:

<u>Coordinate geografiche (sistema WG84) di localizzazione</u>
Latitudine Nord = 46.162361°
Longitudine Est = 9.833459°

Stati limite

 Classe Edificio					SLO	SLD	SLV	SLC	
IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...					1,50	1,50	1,50	1,49	
 Vita Nominale	100				1,70	1,66	1,59	1,59	
 Interpolazione	Media ponderata				1,00	1,00	1,00	1,00	
CU = 2									
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c^* [s]					
Operatività (SLO)	120	0.046	2.549	0.230					
Danno (SLD)	201	0.057	2.547	0.249					
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0.127	2.580	0.282					
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.138	2.592	0.284					
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200								
					Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
					kh	0.014	0.017	0.046	0.049
					kv	0.007	0.009	0.023	0.025
					Amax [m/s ²]	0.676	0.836	1.866	2.019
					Beta	0.200	0.200	0.240	0.240

Tabella 6.34 – Parametri sismici.

dove:

V_N	vita nominale;
C_U	coefficiente d'uso;
V_R	vita di riferimento;
P_{VR}	probabilità di superamento nel periodo di riferimento;

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 82 di 89</p>
--	--

a_g accelerazione sismica massima attesa di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T coefficiente di amplificazione topografica;

$S = S_S \times S_T$;

$a_{max} = S_S \times S_T \times a_g$ accelerazione al suolo.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 83 di 89</p>
--	--

7 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Nella tabella seguente viene riepilogato il quadro di sintesi degli intervalli di variazione dei principali parametri geotecnici individuati in sede di caratterizzazione geotecnica.

Legenda:

- γ : peso di volume;
- c' : coesione efficace;
- ϕ' , angolo di resistenza al taglio;
- E' : modulo elastico;
- E_{VC} : modulo elastico valutato lungo la retta di consolidazione vergine (per paratie);
- E_{UR} : modulo elastico valutato nel tratto di scarico-ricarico (per paratie);

Unità	Descrizione	Z da p.c. (S1CDH)	γ (kN/m ³)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	E' (MPa)	E_{VC} (MPa)	E_{VC} (MPa)
TERRENO A	Sabbie con limo debolmente argillose	-0.5m ÷ -2.0m	19 ÷ 20	0 ÷ 10	25 ÷ 30	8 ÷ 15	15 ÷ 30	24 ÷ 48
TERRENO B	Ghiaia con sabbia debolmente limosa	-2.0m ÷ -23.0m	19 ÷ 20	0	28 ÷ 35	15 ÷ 25	35 ÷ 135	56 ÷ 208
TERRENO C	Sabbia limosa	-23.0m ÷ -30.0m	19 ÷ 20	0 ÷ 15	28 ÷ 32	20 ÷ 25	80 ÷ 150	128 ÷ 240
TERRENO D	Scisti di Edolo	-	29.5	15	27	240	240	240

Tabella 7.1 – Parametri geotecnici: valori caratteristici X_k .

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 84 di 89</p>
--	--

8 COSTANTE DI SOTTOFONDO

Di seguito viene motivato il valore adottato per il modulo di reazione verticale (o coefficiente di sottofondo o costante di Winkler) k_s nelle analisi strutturali.

In premessa, è da tenere debitamente in considerazione che numerosi Autori fanno notare che le pressioni sul terreno fornite dai programmi di analisi strutturale sono solo marginalmente influenzate dalla scelta di k_s : ciò deriva dal fatto che, in generale, la rigidezza degli elementi strutturali è pari come minimo a 10 volte la rigidezza del terreno, misurata da k_s . Bowles (in "Fondazioni – Progetto e analisi", 1974) dimostra con degli esempi pratici tale asserto (cfr. Esempio 8.9).

Anche Viggiani ("Fondazioni", 2003) rimarca che per una corretta applicazione del modello di Winkler è sufficiente una stima ragionevole del valore di k_s , tenuto conto che i risultati del calcolo strutturale in termini di caratteristiche della sollecitazione non sono molto sensibili ai valori assunti. In Figura 8.1 sono riportati alcuni risultati relativi ad una trave di lunghezza infinita, caricata ad intervalli regolari da forze concentrate e poggiate su di un sottosuolo caratterizzabile con un modello alla Winkler. Nel caso in cui il sottosuolo sia uniforme, i momenti flettenti che si generano nella trave per i carichi in esame non variano apprezzabilmente passando da un valore del coefficiente di reazione del terreno k_s ad un valore dieci volte minore ($0.1 k_s$) (figura 12.2 a e d). Se invece la variazione si verifica lungo tratti di lunghezza pari ad una o due campate della trave (figura 12.2 b e c), l'andamento ed i valori massimi del momento flettente ne risultano profondamente modificati.

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione Geotecnica

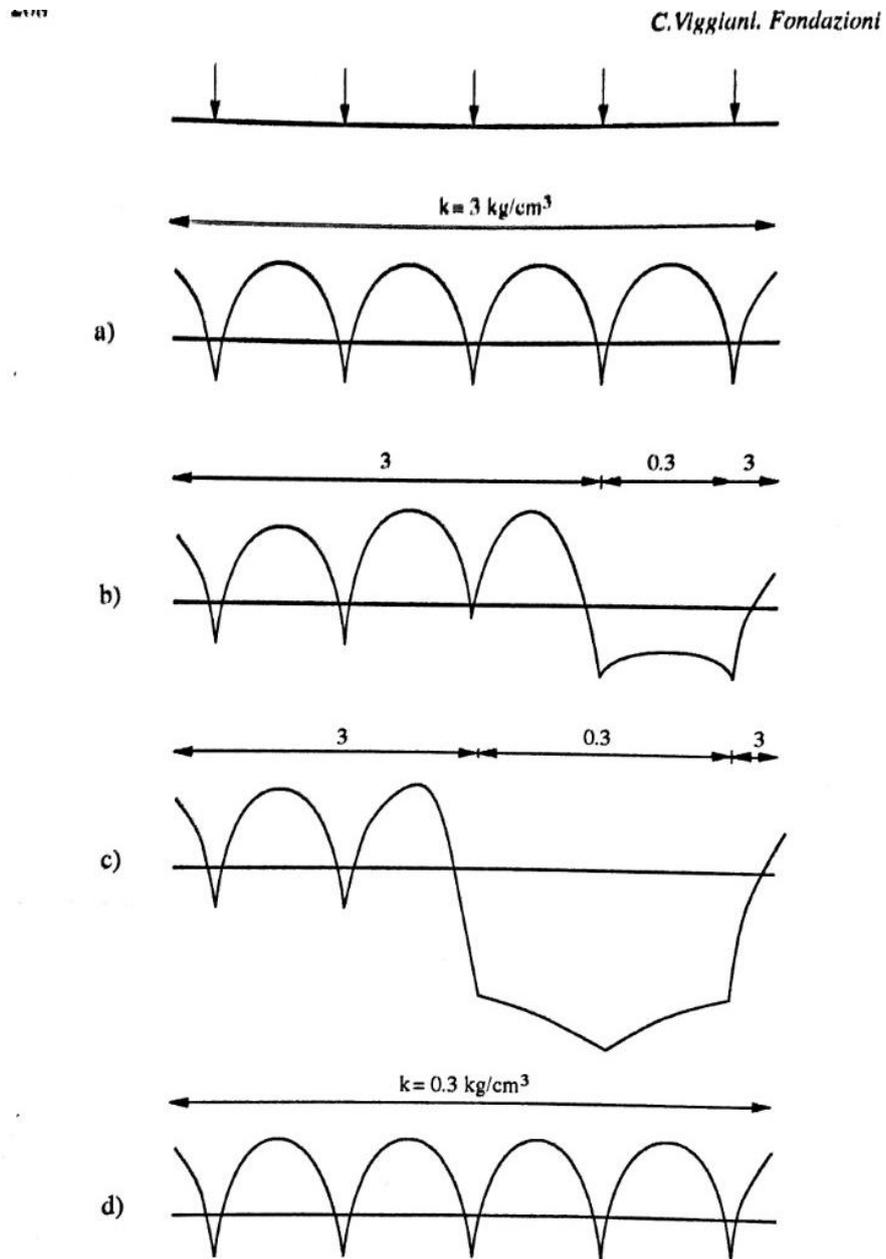


Figura 8.1 – Edificio 10C: Trave di fondazione su sottosuolo alla Winkler con k_s variabile lungo l'asse della trave.

Di seguito si riportano i valori tipici k_s , secondo Viggiani, per terreni coesivi sovraconsolidati Tabella 8.1 e per terreni incoerenti Tabella 8.2.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 86 di 89</p>
--	--

Consistenza	Compatta ($c_u = 50 \div 100$ kPa)	Molto compatta ($c_u = 100 \div 200$ kPa)	Dura ($c_u > 100$ kPa)
Campo	1,8÷3,5	3,5÷7,0	>7,0
Valore consigliato	2,5	5,0	10,0

Tabella 8.1 - Valori tipici di k_s (kg/cm^3) per terreni coesivi.

Consistenza		Stato di addensamento		
		Sciolto	Medio	Denso
Campo		0,7÷2,0	2,0÷10,0	10,0÷35,0
Non satura	Valore consigliato	1,5	1,5	17,5
Satura	Valore consigliato	1,0	3,0	11,0

Tabella 8.2 - Valori tipici di k_s (kg/cm^3) per terreni incoerenti.

Nel caso in esame siamo in presenza di terreni incoerenti saturi sciolti. Alla luce di tali considerazioni e secondo la Tabella 8.2, per le analisi strutturali può ritenersi rappresentativo un valore cautelativo del $k_s = 3.0 \text{ kg/cm}^3$.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 87 di 89</p>
--	--

9 BONIFICA DEL PIANO DI POSA

Si osserva che tutte le prove non hanno restituito valori che rispettano i requisiti prestazionali minimi stabiliti nel capitolato tecnico ($M_{d,I} \cong 20MPa$),

Risulta, inoltre, che il rapporto dei moduli del 1° e 2° ciclo $M_{d,I} / M_{d,II}$ sono stati inferiore a 0.60 (cfr. Figura 6.10), dunque **risultando non soddisfatte le prescrizioni di capitolato.**

Sulla base di tali risultati ed in considerazione delle stratigrafie dei sondaggi, che hanno evidenziato spessori di terreno vegetale e terreno di posa del rilevato non idonei per spessori in media di 0.80m÷1.00m, viene prevista progettualmente la bonifica di tali spessori in corrispondenza della viabilità (vedi paragrafo della bonifica del piano di posa).

Ne consegue, quindi, che lo spessore di bonifica complessivamente viene eseguito asportando 1.50m di terreno da p.c.. Viene prima asportato lo strato vegetale e successivamente viene eseguito lo scavo fino a profondità stabilita per la bonifica. Complessivamente vengono asportati 0.20m+1.30m= 1.50m di terreno da p.c..

La bonifica del terreno dovrà essere eseguita quando prevista dal progetto, e ogni qualvolta nel corso dei lavori si dovessero trovare delle zone di terreno non idoneo (per es. un terreno altamente compressibile, non compattabile, dotato di scadenti caratteristiche meccaniche, contenente notevoli quantità di sostanze organiche, ecc.) e/o comunque non conforme alle specifiche di progetto.

L'identificazione degli spessori di bonifica è stata guidata prevalentemente dalle potenze dei terreni non affidabili dal punto di vista geotecnico indicate dalle stratigrafie di sondaggio e dagli esiti delle prove di carico su piastra PLT.

I dati disponibili in modo puntuale dai sondaggi, che costituiscono un'informazione locale e che non sempre sono ubicati in corrispondenza delle opere, sono stati trasferiti lungo i tracciati di progetto in base alle ricostruzioni operate nel modello geologico, tenendo conto della geometria della sezione (rilevato/trincea), della distanza sondaggio-opera, della presenza o meno lungo il nuovo sedime di opere pre-esistenti o di futura realizzazione, di considerazioni specifiche sviluppate caso per caso.

In definitiva, i tratti di viabilità interessati da bonifica vengono riepilogati in Tabella 9.1.

<p>ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 88 di 89</p>
--	--

Asse	Intervento	SP.TOT. INTERVENTO
-	-	(m)
ROTATORIA		
Prog. 280,00 - 340,00	bonifica	Scotico + Scavo = 0,20 + 1,30 = 1,50
TRACCIATO		
Prog. 0,00 - 1045,00	bonifica	Scotico + Scavo = 0,20 + 1,30 = 1,50

Tabella 9.1 - Spessori di bonifica viabilità.

La bonifica verrà realizzata con materiale selezionato appartenente ai gruppi (CNR-UNI 10006):

- A1, A2, A3 se proveniente da cave di prestito; nel caso in cui il materiale appartenga al gruppo A3, deve presentare un coefficiente di uniformità $\frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 7$;
- A1, A2, A3, A4, se proveniente dagli scavi; il materiale appartenente al gruppo A3 deve presentare un coefficiente di uniformità $\frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 7$.

Il materiale dovrà essere messo in opera a strati di spessore non superiore a 50 cm (materiale sciolto); per il materiale dei gruppi A2 ed A4 gli strati dovranno avere spessore non superiore a 30 cm (materiale sciolto).

Per la formazione del corpo del rinterro potranno essere impiegati frammenti rocciosi delle dimensioni non maggiori di 20 cm così da poter formare strati dello spessore massimo di 50 cm. Nel caso di stesa per strati di 30 cm, la massima dimensione ammissibile dei frammenti rocciosi è di 10 cm. Da un punto di vista litologico è da escludere l'impiego di materiali provenienti da rocce soggette a fenomeni di alterazione o molto fragili, che non conservino nel tempo la granulometria originaria.

Il materiale a pezzatura grossa, la cui dimensione sia compresa fra 7 e 20 cm, deve essere di pezzatura disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume del rinterro; in particolare, dovrà essere realizzato un accurato intasamento dei vuoti, in modo da ottenere, per ogni strato, una massa ben assestata e compattata.

Dopo la compattazione, il valore della densità secca (AASHTO Modificata CNR BU n. 69) dovrà essere almeno pari a quello previsto per le diverse categorie di lavoro secondo le specifiche di capitolato; il modulo di deformazione misurato mediante prova di carico su piastra, al primo ciclo di carico nell'intervallo 0.05 MPa – 0.15 MPa, non dovrà essere inferiore a quello previsto per le diverse tipologie di opere in terra, riportato nel capitolato tecnico.

<p style="text-align: center;">ANAS S.p.A. S.S. 38 "DELLO STELVIO" LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO SVINCOLO A LIVELLI SFALSATI "SASSELLA" E RIQUALIFICAZIONE DELLA S.S.38 DALLA PK 34+150 ALLA PK 35+200 NEI COMUNI DI SONDRIO E CASTIONE ANDEVENNO</p> <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO Relazione Geotecnica</p>	<p>T00_GE00_GET_RE01_B Data: Agosto 2022 Pag. 89 di 89</p>
--	--

Nel caso di presenza diffusa di frammenti rocciosi, in luogo della prova di densità, si dovranno eseguire, durante la formazione degli strati, solo prove per la determinazione del modulo di deformazione, eventualmente con piastra di diametro $D = 600$ mm.

In tutte le situazioni, dovrà inoltre verificarsi che il rapporto "K" dei moduli del 1° e 2° ciclo risulti non inferiore a 0.60 (CNR-BU n. 146).