

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C0900000005

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

GEOTECNICA

Relazione geotecnica generale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I B 0 Q 3 A R 1 0 R H G E 0 0 0 6 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Quadrino	Gen 2021	G.Scasserra	Gen 2021	C. Mazzocchi	Gen 2021	L. Berardi Giu 2021
B	Aggiornamento a seguito richieste RFI	P. Quadrino	Giu 2021	L. Cosiotti	Gen 2021	C. Mazzocchi	Giu 2021	

File: IB0Q3AR10RHGE0006001B.docx

Sommario

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO	5
3	NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	7
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	7
3.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
5	CAMPAGNE INDAGINI DISPONIBILI	8
6	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	13
6.1	Depositi incoerenti	13
6.1.1	Stato di addensamento: correlazione di Skempton.....	14
6.1.1	Parametri di resistenza: correlazione di Schmertmann per angolo di attrito.....	14
6.1.1	Caratteristiche di rigidezza: correlazione di Denver	14
6.2	Depositi COESIVI	15
6.2.1	Caratteristiche di resistenza	15
6.2.1	Caratteristiche di rigidezza	15
7	MODELLO GEOTECNICO	16
7.1	INQUADRAMENTO GEOTECNICO	16
7.2	PARAMETRI GEOTECNICI	18
7.2.1	UNITÀ G	18
7.2.2	Parametri di progetto	20
7.3	UNITA' S	21
7.3.1	Parametri di progetto	25
7.4	UNITA' L	26
7.4.1	Parametri di progetto	28
7.5	PERMEABILITÀ	29
7.6	TABELLA PARAMETRI	30
8	CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO	30
8.1	RISPOSTA SISMICA.....	30
8.2	Vita Nominale, Classe d'Uso, Periodo di Riferimento per l'Azione Sismica.....	31
8.3	Stati limite e relative probabilità di superamento	32
8.4	Accelerazione di Riferimento su Suolo Rigido.....	33
8.5	Risposta Sismica Locale.....	33



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

**ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA**

**LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI
TRENTO**

Relazione geotecnica generale

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IBOQ

3A R 10

RH

GE 0006 001

B

3 DI 45

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	4 DI 45

1 PREMESSA

Il Lotto 3 “Circonvallazione di Trento e Rovereto” fa parte dei quattro lotti prioritari del progetto di Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona, tratta di Accesso sud alla galleria di Base del Brennero, che ricade nel Corridoio della rete centrale europea denominato “Scandinavia – Mediterraneo”.

Il presente progetto sviluppa la sola circonvallazione ferroviaria della Città di Trento, denominata lotto 3A, ricadente interamente nel Comune di Trento, come parte integrante dei progetti di riqualificazione urbana e potenziamento della mobilità all’interno della città di Trento.

Gli interventi in progetto mirano al raggiungimento di importanti obiettivi in termini di incremento di capacità del corridoio e canalizzazione dei flussi, con il massimo beneficio per il territorio, dato dall’eliminazione del transito dei treni merci all’interno dell’abitato.

Il nuovo tracciato ferroviario si sviluppa per circa 13 km sulla sinistra orografica della Val d’Adige, tra i confini della Val Lagarina fino al tessuto insediativo della città di Trento, tra le località Acquaviva a sud e Roncafort a Nord. L’opera è costituita principalmente da una galleria naturale di linea, a doppia canna a singolo binario per uno sviluppo circa 10.5 km.



Figura 1 – Inquadramento generale dell’area d’intervento.

Nel presente elaborato vengono interpretati i dati ottenuti dalle indagini e dalle prove in sito disponibili al fine di fornire una caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere. Viene altresì fornita la caratterizzazione sismica del sito e le considerazioni che consentono di escludere potenziali fenomeni di liquefazione nelle tratte oggetto di studio.

2 INQUADRAMENTO

L'area oggetto dello studio è ubicata nel territorio della Provincia Autonoma di Trento; più in particolare, il tracciato ferroviario si sviluppa tra l'abitato di Mattarello (località Acquaviva) e la parte nord-occidentale della città di Trento (zona Ex scalo Filzi).

Le opere in progetto insistono in parte sul fondovalle del F. Adige (tratte allo scoperto e in galleria artificiale/trincea profonda) in parte attraversano in galleria naturale (GN Trento) il versante in sinistra idrografica della Val d'Adige. In Figura 1 è riportata l'ubicazione geografica dell'intero tracciato di progetto.

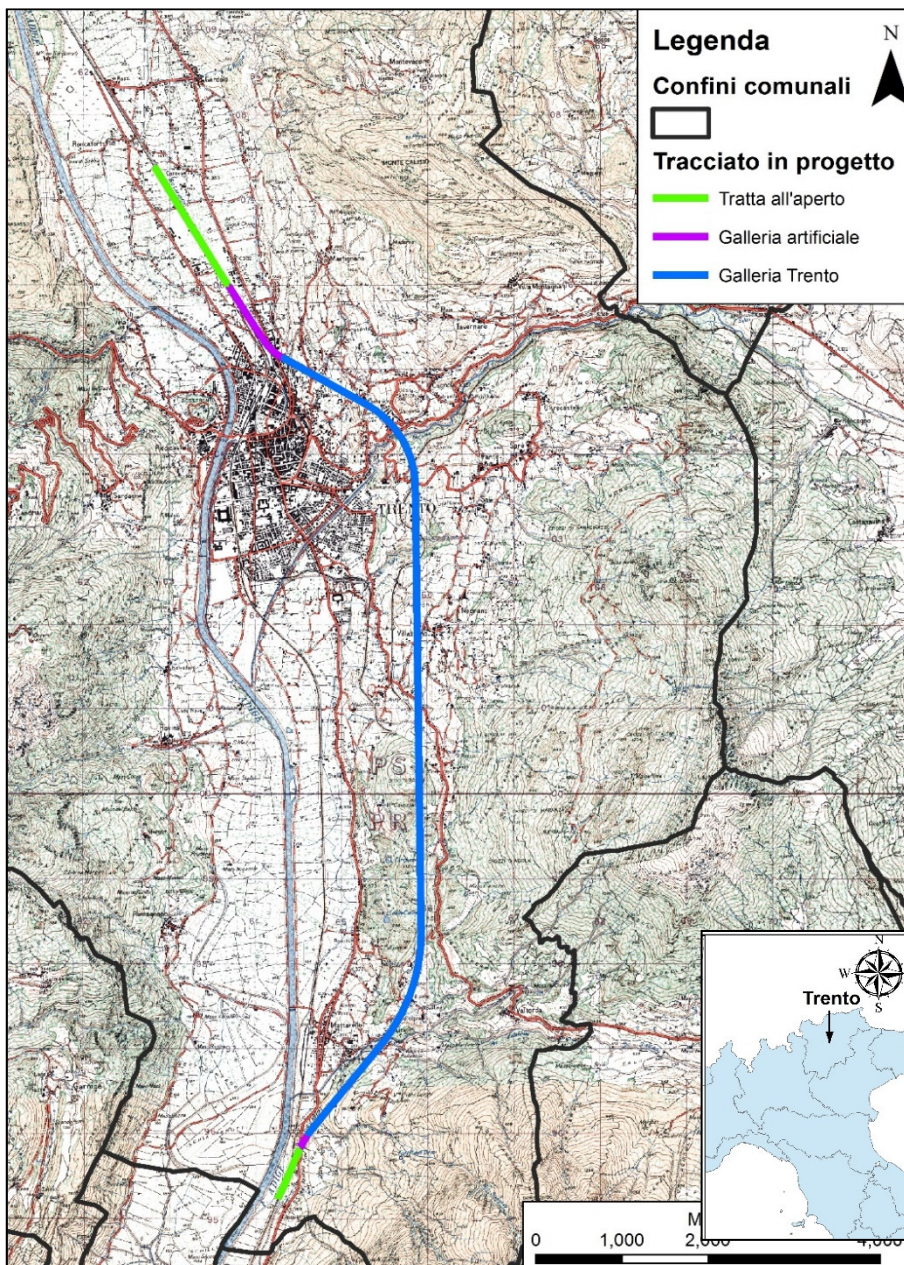



Figura 2 – Inquadramento geografico dell'area.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	6 DI 45

In questa sede ci si limiterà ad esaminare le sole tratte esterne alla galleria naturale Trento rimandando agli specifici elaborati per ciò che riguarda la galleria naturale citata. In particolare, ci si riferirà a:


- **TRATTA 1:** dal km. 0+000 al km. 0+745.43; zona Sud
- **TRATTA 2:** dal km. 11+315.58 al km. 13+078.03; zona Nord.

Di seguito la relazione si articolerà in questo modo:

- Indicazione di normative e documentazione di riferimento
- Inquadramento geologico dell'area in esame;
- Elenco delle indagini eseguite per tratto;
- Definizione delle modalità di rielaborazione ed interpretazione delle indagini di sito e laboratorio (caratterizzazione geotecnica);
- Inquadramento geotecnico del tratto;
- Rappresentazione dei litotipi investigati;
- Definizione della stratigrafia di progetto;
- Definizione delle caratteristiche sismiche e considerazioni circa il pericolo di attivazione del fenomeno di liquefazione;

Come detto si sottolinea che la caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata svolta sulla base:

- degli studi di carattere geologico ed idrogeologico disponibili
- di un'elaborazione ed interpretazione dei risultati di indagini in sito.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IB0Q	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	7 DI 45

3 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

3.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 19 gennaio 2018;
- Manuale di progettazione RFI;
- Specifica RFI del 22/12/17 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

3.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [1]. Geotecnica - Profilo geotecnico - lato sud – IB0Q 3A R 10 F5 GE 00 06 001;
- [2]. Geotecnica - Profilo geotecnico - lato nord – IB0Q 3A R 10 F5 GE 00 06 002;
- [3]. Geologia e Idrogeologia – Relazione geologica e idrogeologica – IB0Q 3A R 69 RG GE 00 01 001;
- [4]. Geotecnica – Relazione geotecnica opere all'aperto (Italferr 2015) – IB02 30 R 26 RH OC 00 00 001;

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	8 DI 45

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il modello geologico di riferimento, descritto nello specifico paragrafo della Relazione Geologica [4], riferisce quanto segue:

- Tratta zona sud: “il tracciato corre all’aperto (Tratta Zona Acquaviva), per circa 750 m interessando depositi prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi di origine alluvionale, per poi entrare in galleria artificiale (imbocco Sud Galleria Trento) e successivamente in galleria naturale, alla pk 0+840 circa. L’imbocco è localizzato in depositi grossolani afferenti ad un conoide alluvionale torrentizio, all’interno dei quali l’opera permane fino alla pk 1+090 circa, ove si ipotizza di intercettare il substrato litoide”;
- Tratta zona nord: “la tratta in esame attraversa dapprima un tratto di circa 20 m nella Formazione di Chiusole, su cui si appoggiano i terreni quaternari del Sintema Postglaciale Alpino (PTG). Questi ultimi, costituiti prevalentemente da termini di natura alluvionale saranno interessati dall’opera fino alla pk di fine progetto”.

In entrambe le tratte, si tratta quindi dei depositi quaternari post-glaciali (PTG), differenziati granulometricamente in depositi prevalentemente ghiaiosi, depositi prevalentemente sabbiosi e depositi prevalentemente limosi e argillosi.

Tale distinzione verrà mantenuta praticamente inalterata nella individuazione delle unità geotecniche che verranno discusse nel seguito, come può essere riscontrato anche dai profili geotecnici allegati al presente progetto [1] [2] che, dal punto di vista del modello stratigrafico, ricalcano quelli geologici per le tratte di interesse.

5 CAMPAGNE INDAGINI DISPONIBILI

Con riferimento agli elaborati geologici di progetto, lo studio geotecnico tiene conto dei sondaggi eseguiti negli anni passati, tra il 1979 e il 2014 e raccolti nella banca dati sondaggi PAT e di un sondaggio eseguito nella fase di Progetto Preliminare dell’Accesso sud alla galleria di base del Brennero - Quadruplicamento della linea Fortezza – Verona” (anno 2013-2014).

La Tabella 1 seguente riassume le principali caratteristiche dei sondaggi disponibili in termini di profondità, campioni prelevati, prove geotecniche eseguite in foro.

Nella parte inferiore della tabella vengono anche indicate le MASW disponibili denominate M01 e M02.

Sondaggio	Data esecuzione	Progressiva	Quota boccaforo	Profondità	Campioni	SPT	Falda
[-]	[-]	[km]	[m]	[m]	[-]	[-]	[m]
2933	11/12/2000	11+275	-	15	-	4	3.1
2932	07/12/2000	11+340	-	12	-	-	-
2931	06/12/2000	11+375	-	15	-	5	3.2
2930	12/12/2000	11+400	-	12	-	-	-
2929	05/12/2000	11+425	-	15	-	5	3.2
574	06/04/1994	11+460	191.9	13.5	-	-	4.1
577	28/03/1994	11+760	191	63	-	-	-
334	20/09/1979	11+780	191	4.7	-	-	3.4
333	20/05/1979	11+810	191	6.2	-	-	3.4
1730	02/04/1996	12+100	-	21.5	-	-	-
370	13/10/1982	12+170	190.2	14.5	-	4	1.2
368	28/09/1982	12+180	190.2	19.8	-	6	1.2
3616	19/10/1993	12+220	192.5	12	-	2	-
1311	06/05/1980	12+400	-	4	-	-	-
1310	30/04/1980	12+430	-	5.5	-	-	2.4
2205	04/12/1990	12+475	192.5	16	-	-	2.6
1314	07/05/1980	12+630	-	4	-	-	-
1315	08/05/1980	12+760	-	5	-	-	2.5
2045	13/12/1993	12+950	193.5	30	-	9	1.8
1823	-	13+375	194	35.6	-	-	2
2404	-	13+425	194	44.7	-	-	1.2
357	24/02/1982	13+675	194.5	9	-	-	-
356	20/02/1982	13+725	194.5	10.4	-	-	1.2
B1	2014	13+825	-	30	1	7	-

M01	-	12+930.00
M02	-	12+000.00

Tab 1: Sondaggi - -Campagna indagini.

Come specificato in precedenza, durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite nel complesso le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico;
- prelievo di 1 campione indisturbato;
- esecuzione di 42 prove penetrometriche dinamiche in foro SPT, i cui risultati sono riassunti nella Tabella 2;

Sondaggio	Profondità	Falda	N° di colpi			Nspt	Litotipo
			1	2	3		
[-]	m	[m da p.c.]				[-]	[-]
2933	6.5	3.1	2	4	5	9	S
2933	7.5	3.1	3	12	14	26	S
2933	9	3.1	5	4	5	9	S
2933	13.5	3.1	9	5	2	7	S
2931	3.5	3.2	2	3	3	6	A
2931	5.2	3.2	2	3	3	6	L
2931	7.2	3.2	2	2	4	6	S
2931	9	3.2	10	7	6	13	G
2931	14	3.2	9	6	8	14	G
2929	3.5	3.2	8	9	6	15	G
2929	6	3.2	3	3	4	7	A
2929	7	3.2	2	2	3	5	S
2929	9	3.2	2	3	4	7	S
2929	13.5	3.2	4	6	8	14	S
370	2.5	1.2	2	2	3	5	L
370	4	1.2	4	7	7	14	L
370	5	1.2	13	18	13	31	L
370	7	1.2	9	8	8	16	G-S
368	0.6	1.2	1	2	2	4	L-S
368	2.2	1.2	1	2	2	4	L-S
368	3.5	1.2	1	5	4	9	L-S
368	5	1.2	9	13	18	31	S
368	9.2	1.2	9	10	15	25	G-S
368	12	1.2	4	3	4	7	S
3616	5	1.2	10	12	12	24	S
3616	9	1.2	19	24	31	55	G
2045	5.5	1.8	1	2	4	6	S
2045	7	1.8	1	3	7	10	S
2045	8.5	1.8	3	6	8	14	S
2045	10	1.8	5	17	19	36	S
2045	13	1.8	11	11	13	24	S
2045	19	1.8	5	4	8	12	S
2045	22	1.8	5	12	15	27	S
2045	25	1.8	3	9	15	24	S
2045	28	1.8	5	8	12	20	S
B1	3	3.5	2	3	2	5	LA
B1	7.5	3.5	6	8	1	9	G
B1	12	3.5	9	8	7	15	S
B1	15	3.5	11	10	10	20	S
B1	19	3.5	3	4	2	6	S
B1	24	3.5	4	5	6	11	S
B1	28.5	3.5	12	10	11	21	S

Tab 2: Sondaggi e risultanze prove SPT

- n° 2 prove di permeabilità di Lefranc, riassunte in Tabella 3;

Sondaggio	Prof. Prova Lefranc da a (m)	Permeabilità k (m/s)
B1	5.60 - 6.60	7.93E-05
B1	13.5 - 14.50	5.49E-05

Tab 3: Risultati delle prove Lefranc

- n° 2 prove pressiometriche (metodo menard), richiamate nella Tabella 4;

Sondaggio	Prof. Prova pressiometrica a (m)	Modulo di deformazione (MPa)
B1	9.7	25.46
B1	17.2	23.68

Tab 4: Risultati delle prove pressiometriche

- n° 2 prove geofisiche di tipo MASW delle quali si riporta a seguire i profili delle Vs ottenuti.

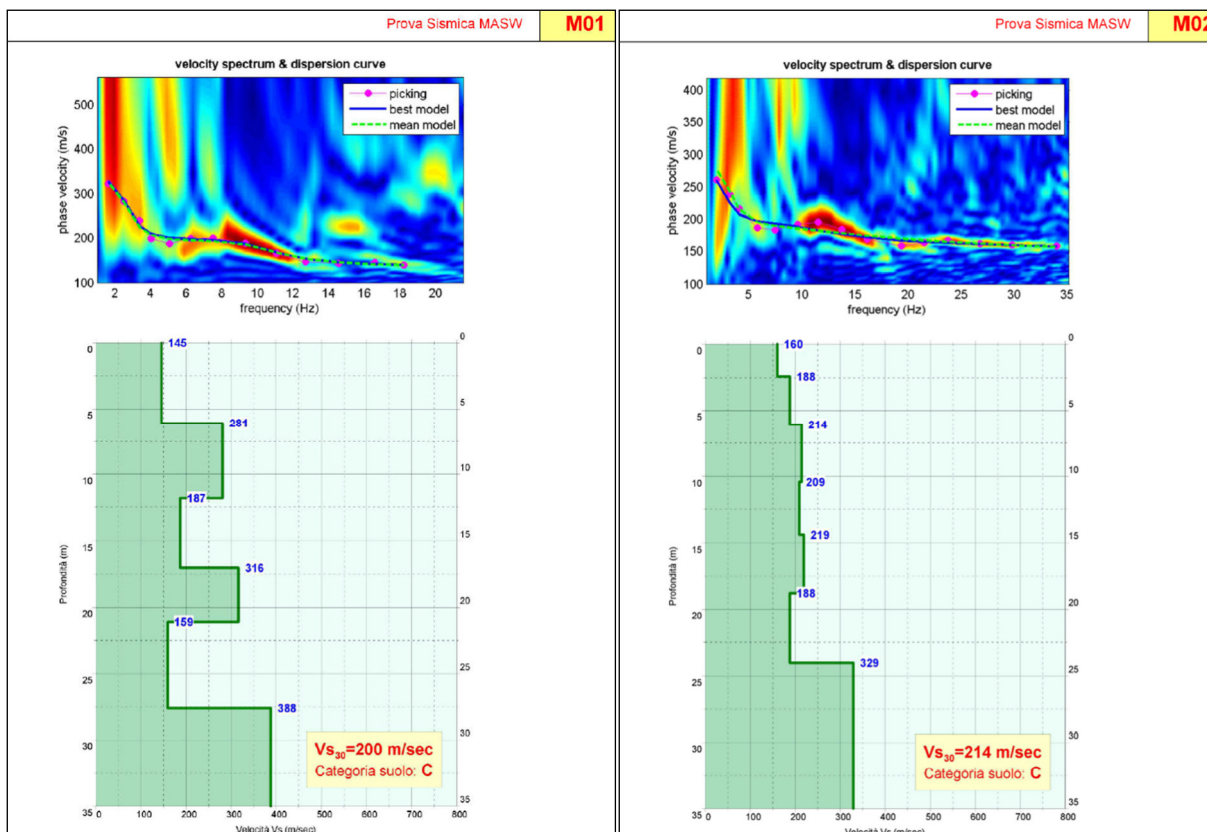
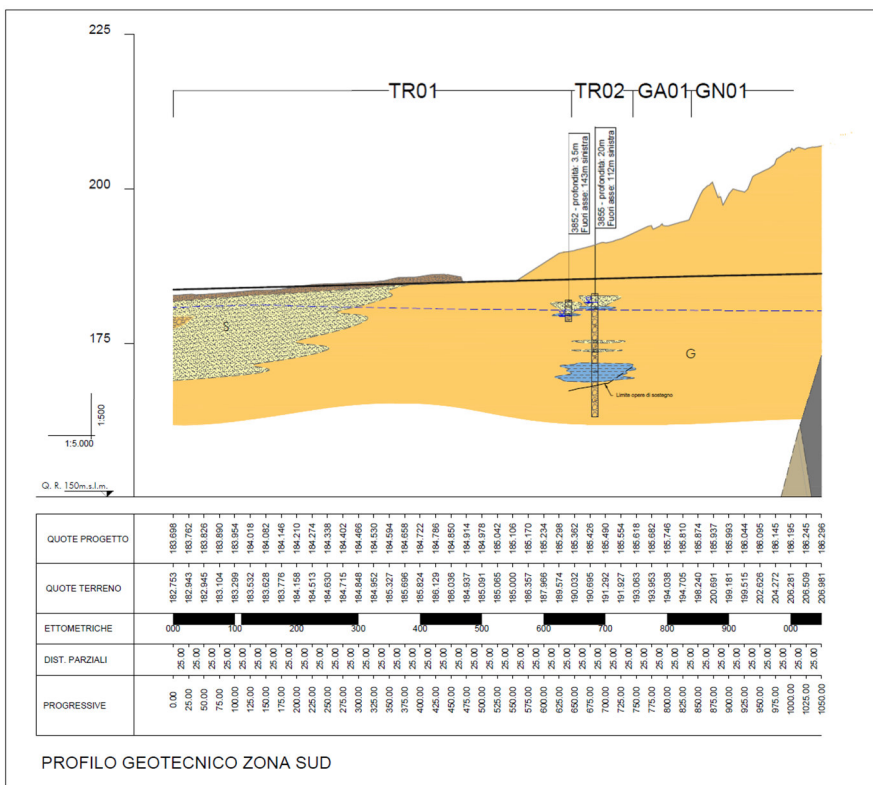
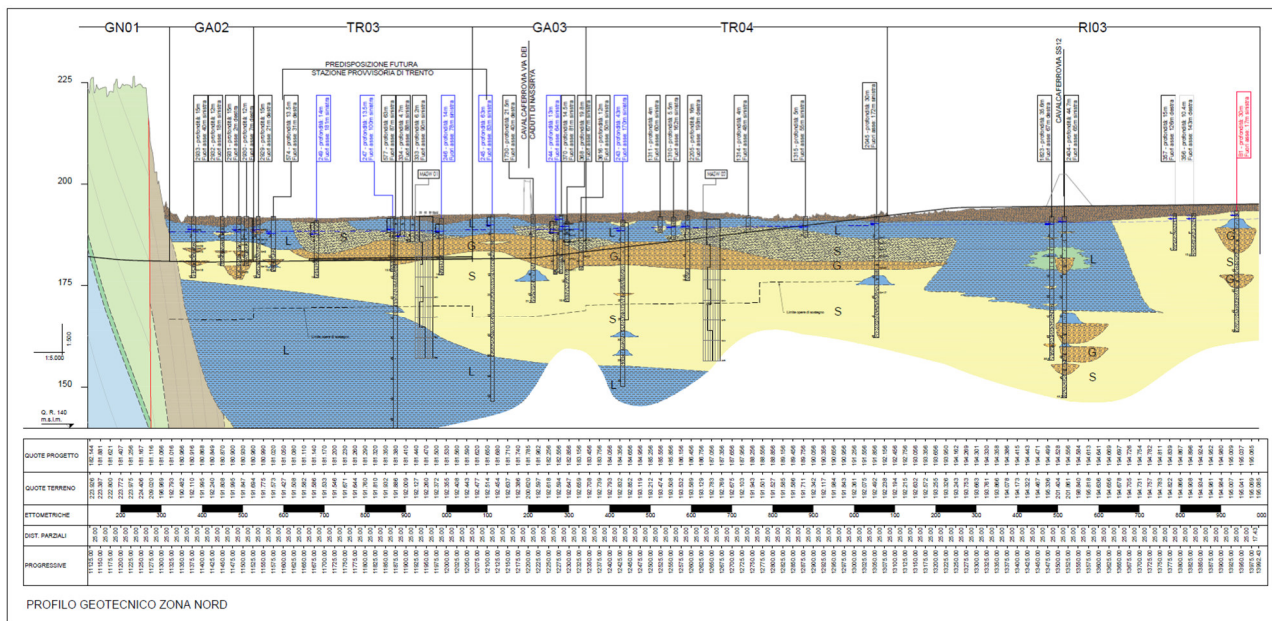


Figura 3 – Prove MASW M01 – M02.

Si riportano di seguito gli stralci dei profili delle due tratte con indicazione dei sondaggi disponibili, rimandando agli elaborati [1] e [2] per i dettagli.




PROFILO GEOTECNICO ZONA SUD



PROFILO GEOTECNICO ZONA NORD

Figura 4 – Profili geotecnici con indicazione dei sondaggi disponibili zona sud e nord

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	13 DI 45

6 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche, di seguito descritti, tengono conto del fatto che nelle tratte di interesse sono stati essenzialmente intercettati terreni ghiaiosi, sabbiosi e limoso-argillosi.

Dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica si distinguono due tipologie di materiale:

- materiali a grana fine (limi-argillosi);
- materiali a grana grossa (sabbie o ghiaie).

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è stata fatta principalmente sulla base della descrizione stratigrafica dei sondaggi e delle indicazioni estratte dalla relazione geologica.

Non avendo disponibilità di dati ottenuti da prove di laboratorio, nel seguito si farà riferimento alle metodologie di interpretazione relative essenzialmente alle sole prove in sito.

6.1 DEPOSITI INCOERENTI

Lungo il tracciato in oggetto i materiali a grana grossa sono essenzialmente distinguibili in ghiaie con sabbia e sabbie con ghiaia (talora con limo), che nel seguito verranno rispettivamente indicate come unità **G** e unità **S**. In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito disponibili (mediante correlazioni empiriche).

L'interpretazione delle prove in situ è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- i parametri di stato (es: densità relativa);
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- i coefficienti di permeabilità.

Per tali depositi i parametri geotecnici di resistenza al taglio e di deformabilità possono essere stimati sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT disponibili, secondo le procedure di seguito descritte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	14 DI 45

6.1.1 Stato di addensamento: correlazione di Skempton

È noto che la resistenza e la deformabilità delle sabbie e delle ghiaie dipende significativamente dal loro stato di addensamento iniziale, definito attraverso la densità relativa (D_R). Questa è stata stimata in accordo a quanto indicato da Skempton (1986):

$$\frac{(N_1)_{60}}{60} = D_R^2$$

con

$$N_1 = C_N N_{SPT}$$

nella quale

$$C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_{vo}/100}$$

con N_{SPT} pari al numero di colpi necessari per ottenere un avanzamento di 30 cm nel corso di una SPT e σ'_{vo} lo stato tensionale verticale efficace alla quota della misura.

6.1.1 Parametri di resistenza: correlazione di Schmertmann per angolo di attrito

Le caratteristiche di resistenza espresse in termini di tensioni efficaci (φ'), sono state ricavate adottando l'approccio proposto da Schmertmann (1978) nel quale φ' è espresso in funzione della densità relativa D_R (quest'ultima ricavata come descritto nel paragrafo precedente):

$$\varphi'_{picco} = a + b \cdot D_R$$


a	b	
28.00	0.14	Sabbia fine uniforme
31.50	0.12	Sabbia media uniforme
34.50	0.10	Sabbia grossa uniforme
38.00	0.08	Ghiaietto uniforme

Nel caso in esame sono state considerate le costanti empiriche relative a ghiaietto uniforme per il litotipo **G** e le costanti relative alla sabbia media uniforme per il litotipo **S**.

6.1.1 Caratteristiche di rigidità: correlazione di Denver

Le caratteristiche di deformabilità dei depositi incoerenti possono essere stimate a partire dall'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche SPT applicando il metodo di Denver (1982) secondo il quale il modulo di Young E' può essere calcolato come:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	15 DI 45

dove N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione e S_1 e S_2 sono costanti che assumono valori in funzione della granulometria e della litologia; in particolare, per sabbie e ghiaie le costanti valgono $S_1 = 0,758$ e $S_2 = 18,75$.

6.2 DEPOSITI COESIVI

Come anticipato in precedenza, in assenza di dati di laboratorio, anche la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine è affidata all'interpretazione delle prove in sito.

6.2.1 Caratteristiche di resistenza

La determinazione delle caratteristiche di resistenza in condizioni drenate e non dei depositi coesivi ci si basa solitamente sui risultati delle prove di laboratorio, quali prove di compressione triassiale o prove di taglio diretto.

Nella presente relazione, a causa della mancanza di prove di laboratorio atte alla determinazione dei suddetti parametri, la resistenza al taglio in condizioni non drenate, unico parametro quantificabile, è stata valutata sulla base delle prove penetrometriche dinamiche SPT in base alla seguente correlazione di Stroud (1974):

$$C_U = 4 \div 5 \cdot N_{SPT}$$

Per quanto riguarda i parametri di resistenza drenati, nei successivi paragrafi inerenti alla caratterizzazione, si farà riferimento a valori di letteratura attribuiti all'unità L sulla base della descrizione geologica e delle altre caratteristiche discusse (es: c_u).

6.2.1 Caratteristiche di rigidezza

Per la valutazione delle caratteristiche di rigidezza dei depositi coesivi (unità L) è stato ritenuto opportuno risalire alle stesse partendo dai dati di velocità delle onde di taglio ottenute dalle prove MASW eseguite nella zona scalo Filzi (M01 – M02).

Nota la velocità delle onde S è infatti possibile ricavare il modulo di taglio iniziale, G_0 :

$$G_0 = \rho \cdot V_S^2$$

dove

- V_S è la velocità delle onde di taglio;

- ρ è la densità del materiale (γ/g).

Dalla valutazione del modulo di taglio è possibile ricavare il modulo di Young iniziale, E_0 :

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

dove ν è il coefficiente di Poisson, (assunto pari a 0.3).

Per quanto riguarda il comportamento a grandi deformazioni, di interesse nella presente fase progettuale, è stata considerato il modulo di Young $E' = E_0/10$.

7 MODELLO GEOTECNICO

7.1 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La tratta "a sud della galleria naturale è generalmente caratterizzata dalla presenza di ghiaie poligeniche con sabbia, localmente limose, e sabbie ghiaiose che nella presente relazione risultano identificate come unità geotecnica **G** e **S** (Figura 5).

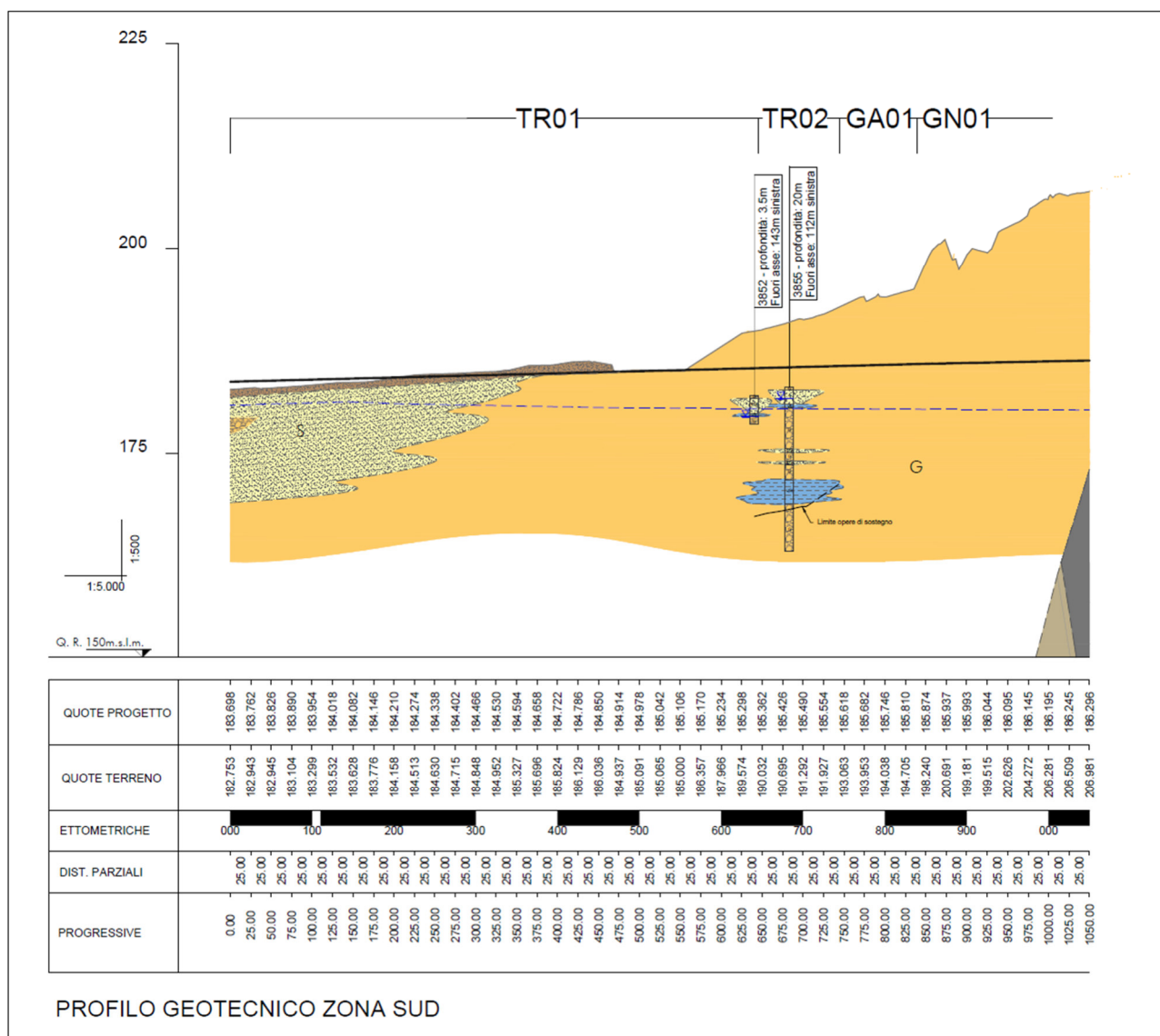


Figura 5 – Profilo geotecnico lato Sud.

L'andamento della falda assunto nel progetto è quello indicato nel profilo geotecnico e risulta ad una profondità variabile tra 2 m nel tratto iniziale e 14.5 m nella parte finale della zona considerata

L'area ricadente a nord della galleria naturale, è caratterizzata in una prima parte dalla presenza importante di depositi coesivi (specialmente limi) denominati unità **L** e di depositi incoerenti sabbiosi e ghiaiosi (unità **S** e unità **G**) mentre proseguendo verso Nord risulta più spiccata la presenza dell'unità **S**, a meno di una zona compresa tra le pk 13+200 e 13+700 in cui è si rinviene la presenza importante del litotipo limoso (Figura 6).

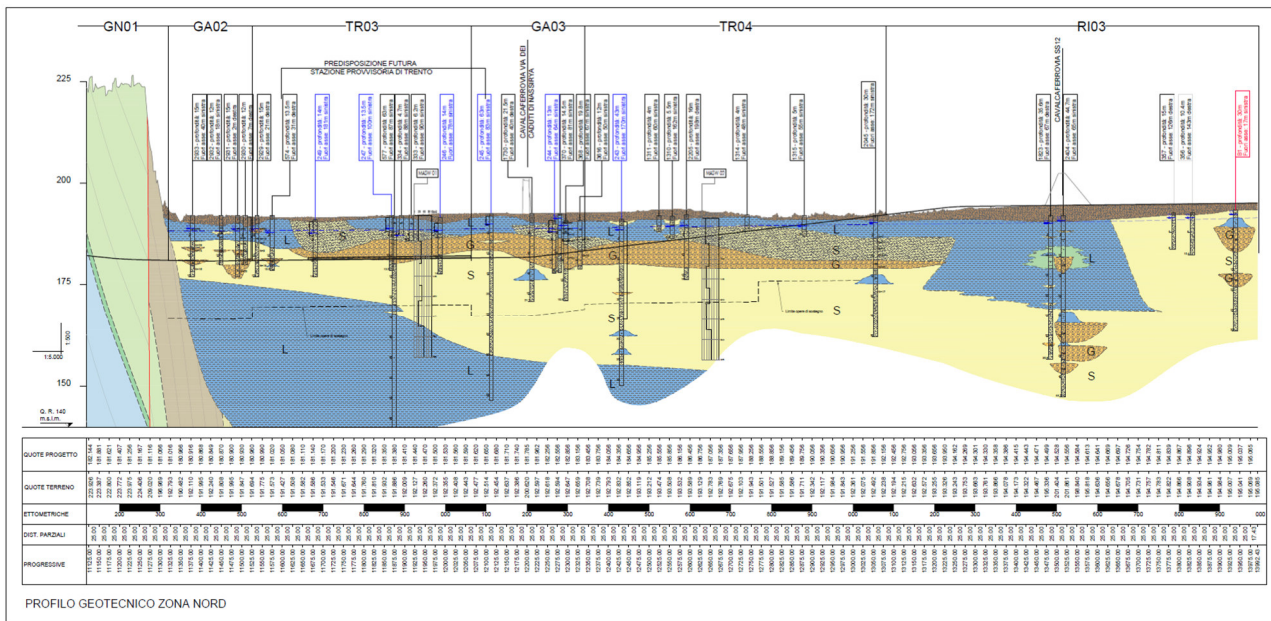


Figura 6 – Profilo geotecnico lato Nord

L'andamento della falda assunto nel progetto è quello indicato nel profilo geotecnico che vede la superficie di falda a una profondità all'incirca costante intorno a -3.0 m ÷ 4 m da p.c.

Sulla base modello geologico di riferimento richiamato nei paragrafi introduttivi, sono state individuate le seguenti unità geotecniche:

- **Unità S:** Sabbie da fine a grossolana di colore grigio marrone;
- **Unità G:** Ghiaie grossolane poligeniche con sabbia e rari ciottoli, localmente limose;
- **Unità L:** Limo grigio/marrone con sabbia.

7.2 PARAMETRI GEOTECNICI

7.2.1 UNITÀ G

Le ghiaie si presentano sotto forma di strati con spessore metrico variabile dai 2 ÷ 6 m (lato nord) ai 40 m circa (lato sud). Localmente si trovano associate ad altre granulometrie quali sabbia e limo.

Come anticipato in precedenza, la caratterizzazione dell'unità G è stata ottenuta a partire dai dati N_{SPT} disponibili secondo i criteri descritti nel paragrafo 5.1.

Nelle Figure 7-8-9-10 sono riportati, per l'unità in esame, rispettivamente, gli andamenti con la profondità dei valori N_{SPT} , di densità relativa, angolo di attrito e modulo di rigidezza ottenuti con le correlazioni descritte nei paragrafi precedenti.

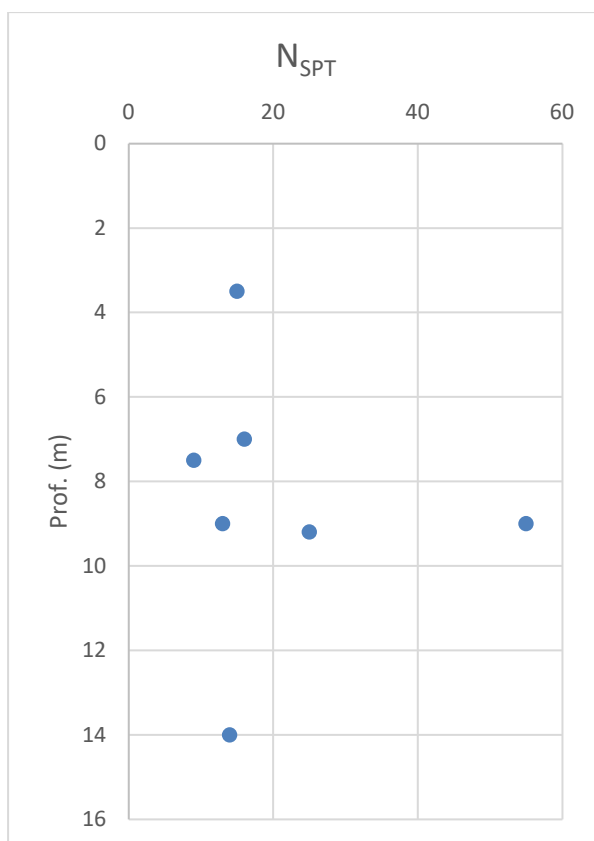


Figura 7 – Unità G: andamento con la profondità dei valori di N_{SPT} .

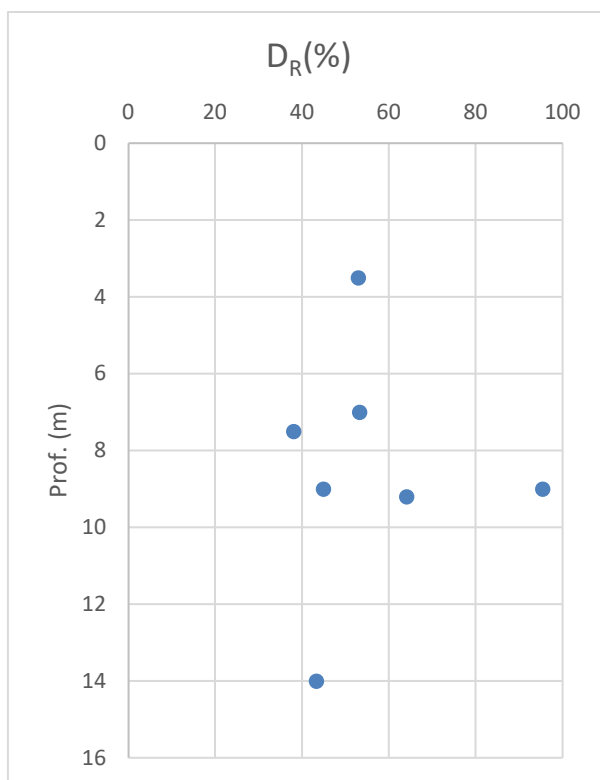


Figura 8 – Unità G: andamento con la profondità dei valori di D_r (%) ricavati dalla correlazione di Skempton.

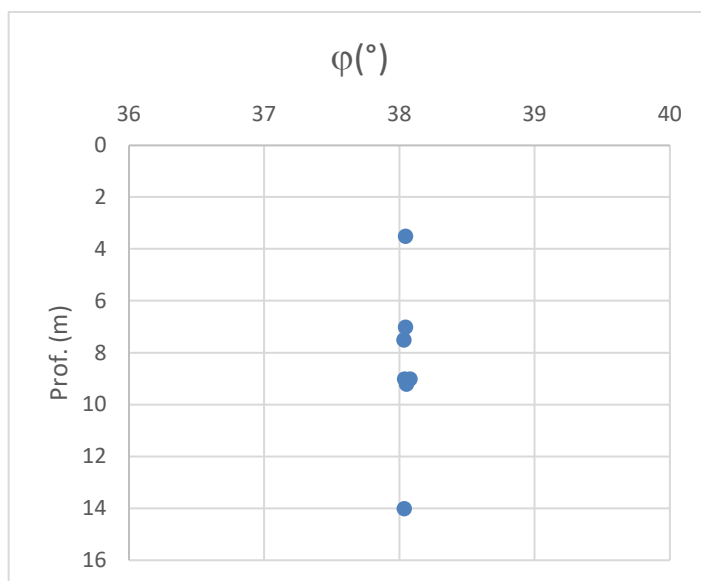


Figura 9 – Unità G: andamento con la profondità dei valori di φ (°) ricavati dalla correlazione di Schmertmann.

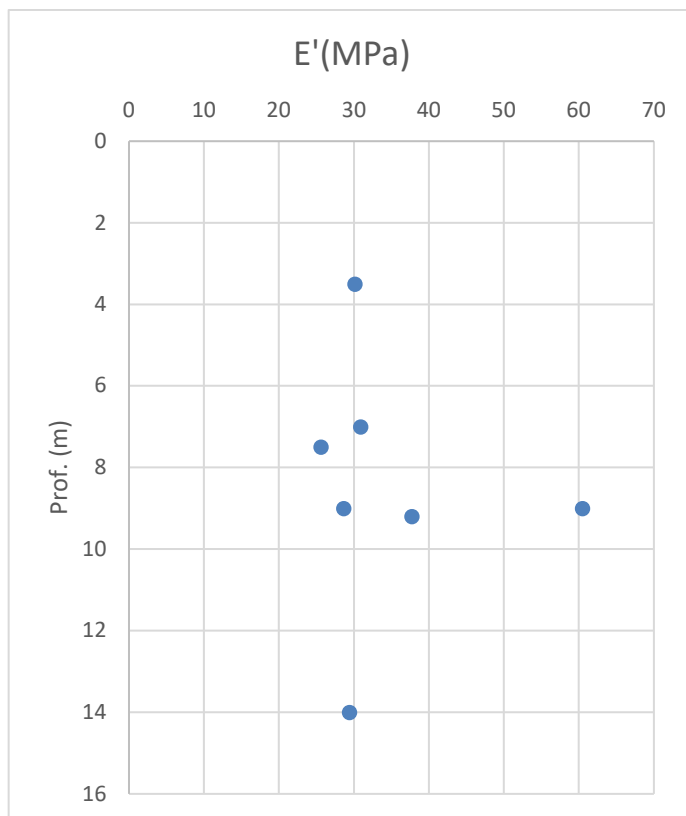


Figura 10 – Unità G: andamento con la profondità dei valori di E' (MPa) ricavati dalla correlazione di Denver.

7.2.2 Parametri di progetto

Dai grafici sopra riportati sono stati assunti i seguenti intervalli per i valori dei parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume $\gamma_{\text{nat}} = 20 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa $Dr = 40-60 \%$
- Coesione efficace¹ $c' = 0-5 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\phi' = 35^\circ - 38^\circ$
- Modulo di Young operativo (da prove in situ) $E' = 25-40 \text{ MPa}$

¹Nel caso della coesione efficace è stato considerato un intervallo 0-5 KPa per tener conto anche della presenza limosa richiamata nei documenti geologici.

7.3 UNITA' S

Il litotipo in esame, di tipo essenzialmente incoerente, è presente lungo tutta la tratta con spessori variabili tra 5 m e 30-40 m circa.

Come anticipato in precedenza, le caratteristiche meccaniche dell'unità S sono state ottenute a partire dai dati N_{SPT} disponibili, secondo i criteri descritti al paragrafo 5.1.

Nelle Figure 11-12-13-14 sono riportati rispettivamente gli andamenti con la profondità dei valori N_{SPT} relativi all'unità in esame, di densità relativa, angolo di attrito e modulo di rigidezza ottenuti con le correlazioni descritte nei paragrafi precedenti.

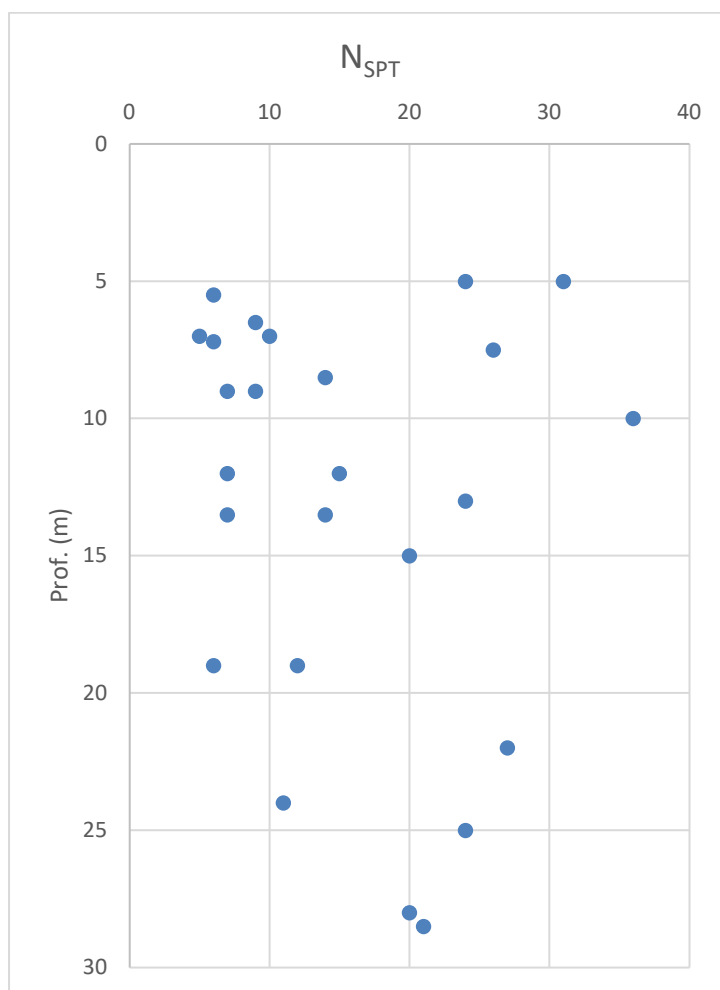


Figura 11 – Unità S: andamento con la profondità dei valori di N_{SPT} .

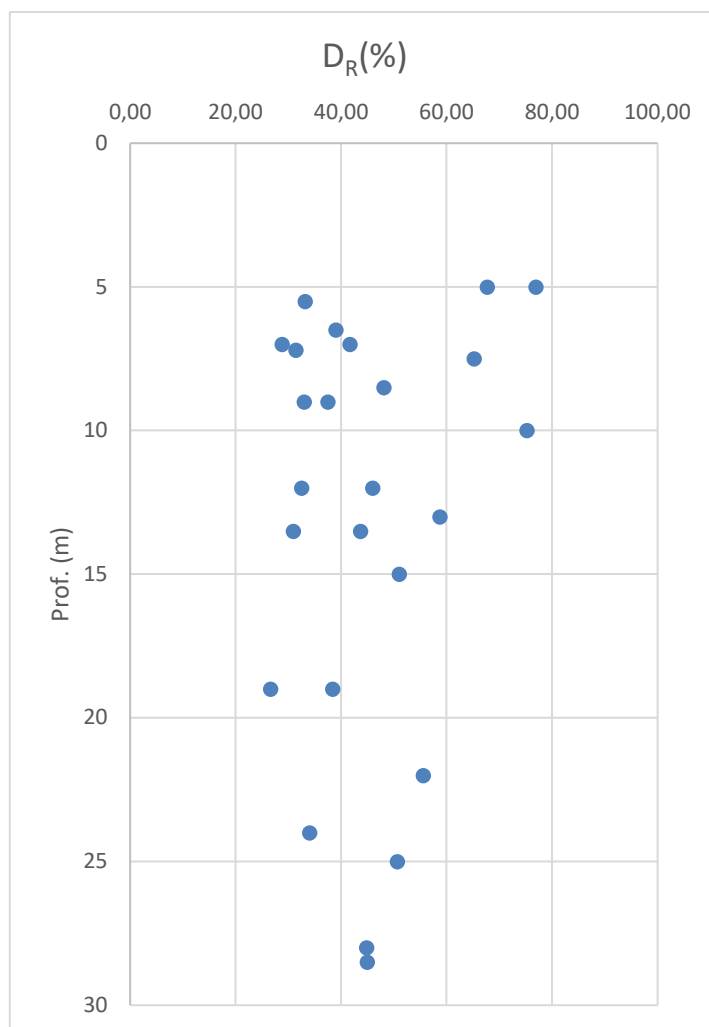


Figura 12 – Unità S: andamento con la profondità dei valori di D_r (%) ricavati dalla correlazione di Skempton.

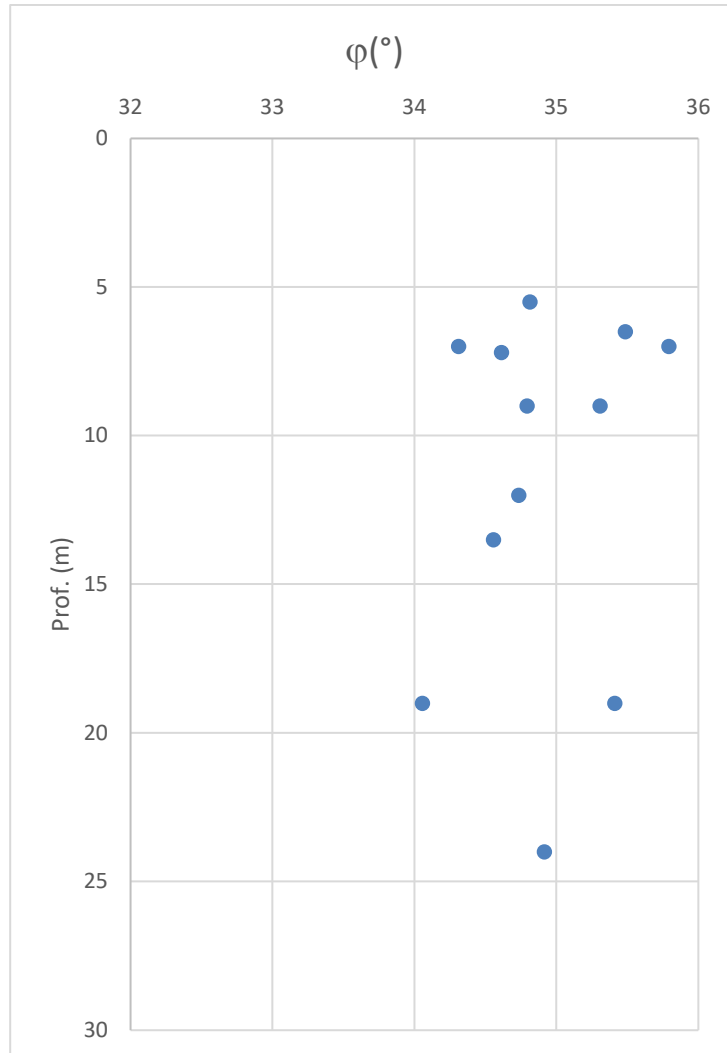


Figura 13 – Unità S: andamento con la profondità dei valori di φ (°) ricavati dalla correlazione di Schmertmann.

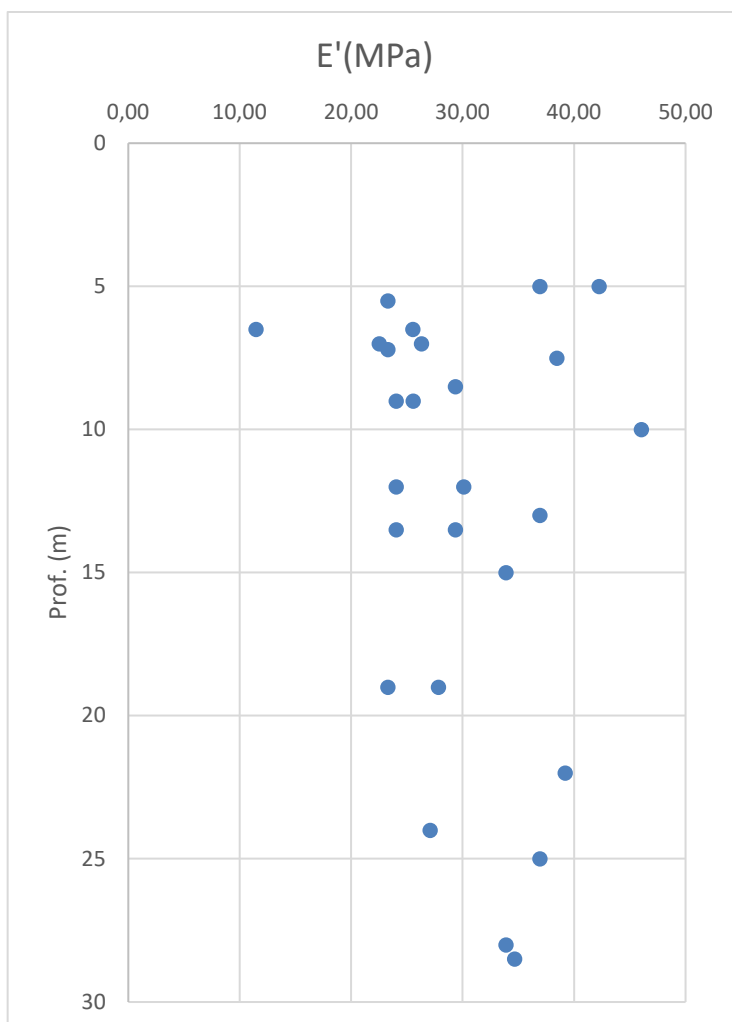


Figura 14 – Unità S: andamento con la profondità dei valori di E' (MPa) ricavati dalla correlazione di Denver.

Una ulteriore stima della rigidezza può essere valutata anche a partire dai valori misurati delle velocità delle onde di taglio derivanti dalle le prove MASW eseguite lato nord.

Le prove MASW forniscono profili di V_s con valori medi riconducibili a circa $V_s = 200$ m/s per le sabbie. A partire da tali valori, si ottiene:

$$G_0 = \rho V_s^2 = \gamma/g V_s^2 = 2 \cdot 200^2 = 80.000 \text{ kPa};$$

$$E_0 = 2 G_0 (1 + \nu) = 2 \cdot 80000 \cdot (1 + 0.3) = 208.000 \text{ kPa}$$

Considerando $E' = E_0/10$ si ha un valore di E' pari a circa 20 MPa, risultato coerente con i moduli ottenuti dalla formulazione di Denver.

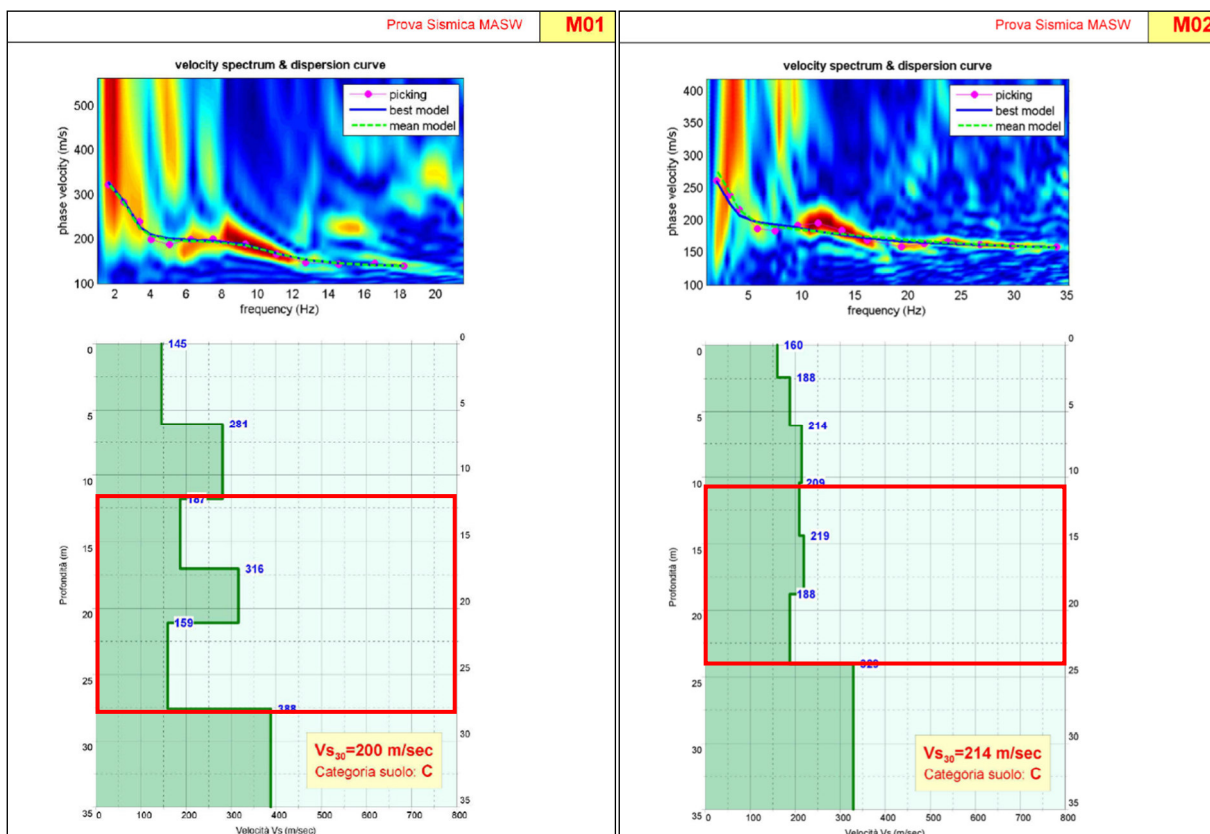


Figura 15 – Prove MASW M01 – M02 con indicazione del tratto di profondità che interessa le sabbie (quadrati rossi)-

7.3.1 Parametri di progetto

Dai grafici sopra riportati sono stati assunti i seguenti intervalli per i valori dei parametri geotecnici:

- Peso per unità di volume $\gamma_{\text{nat}} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa $D_r = 40-60 \%$
- Coesione efficace $c' = 0-5 \text{ kPa}$
- Angolo di attrito $\phi' = 32-35^\circ$
- Modulo di Young operativo $E' = 20-30 \text{ MPa}$

7.4 UNITA' L

L'unità in questione è presente in maniera massiccia nella parte meridionale del tratto nord sottoforma di strati con spessore variabile tra i 2 i 9 m circa. I depositi si sviluppano a profondità variabili lungo tutte le verticali indagate, da immediatamente sotto il terreno di riporto/vegetale superficiale sino a fondo foro ad inizio tratta.

Come anticipato in precedenza, anche la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine è affidata all'interpretazione delle sole prove in sito, a partire dai dati N_{SPT} disponibili e secondo i criteri descritti al paragrafo 5.1.

Nelle Figure 16 e 17 sono riportati rispettivamente gli andamenti con la profondità dei valori N_{SPT} e della coesione non drenata, quest'ultima ottenuta con le correlazioni descritte nello specifico paragrafo.

Purtroppo, i dati disponibili sono riferiti a profondità limitate a circa 6-7m, per cui non risultano direttamente indagati gli strati più profondi dell'unità L. Seguendo un approccio cautelativo, quindi, tutto il litotipo sarà caratterizzato a partire dalle informazioni inerenti alla parte più superficiale.

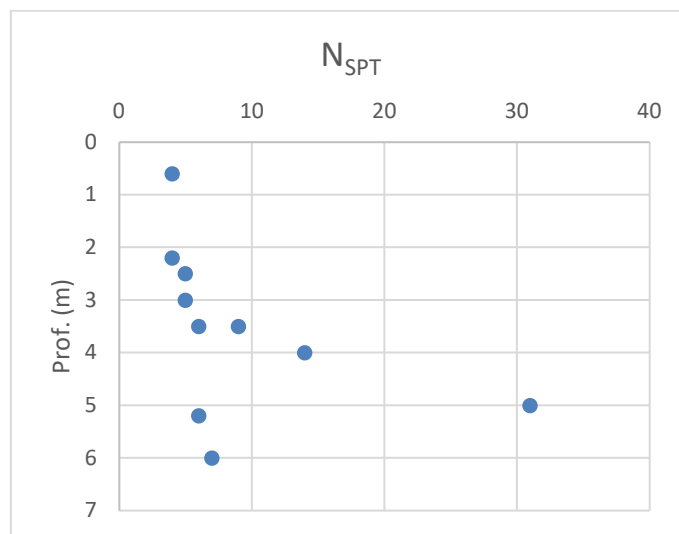


Figura 16 – Unità L: andamento con la profondità dei valori di N_{SPT} .

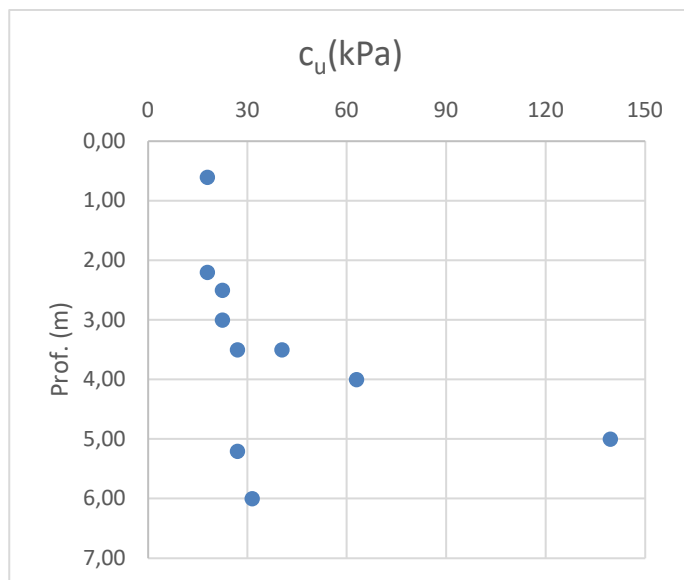


Figura 17 – Unità L: andamento con la profondità dei valori di c_u (kPa) ricavati dalla correlazione di Stroud.

Per la stima dei parametri meccanici di rigidità si fa anche in questo caso riferimento alle prove geofisiche. A tal riguardo, sono state considerate le prove MASW (M01 alla progressiva 12+930.00 km circa – M02 alla progressiva 12+000.00 km circa).

Richiamando i profili riportati nella Figura 18, le prove MASW forniscono profili di V_s con valori medi riconducibili a circa $V_s = 150$ m/s per i limi; a partire da tali valori, si ottiene:

$$G_0 = \rho V_s^2 = \gamma/g V_s^2 = 2 \cdot 150^2 = 45.000 \text{ kPa};$$

$$E_0 = 2 G_0 (1 + \nu) = 2 \cdot 45000 \cdot (1 + 0.3) = 117.000 \text{ kPa}$$

Considerando $E' = E_0/10$ si ha un valore di E' pari a circa 11-12 MPa.

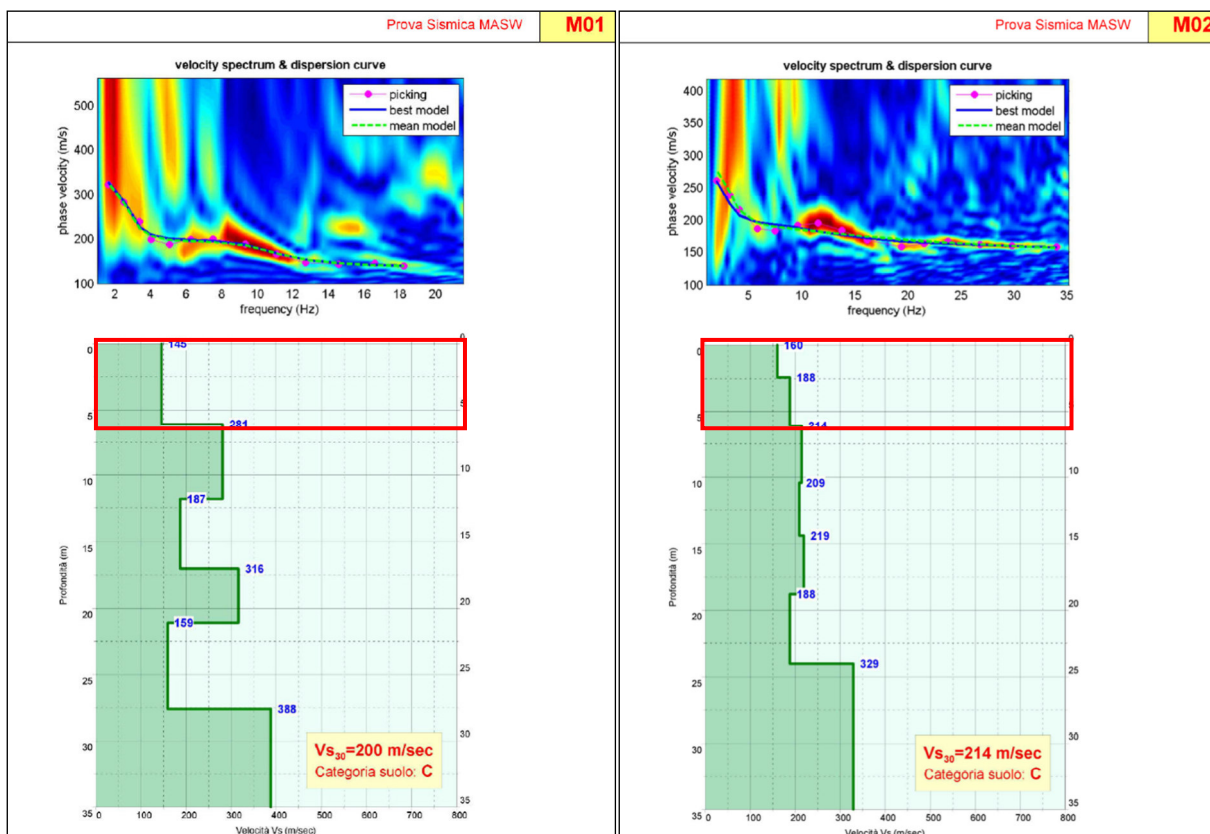


Figura 18 – Prove MASW M01 – M02 con indicazione del tratto di profondità che interessa i limi (quadrati rossi)-

7.4.1 Parametri di progetto

In questo caso, in assenza di specifiche prove di laboratorio, i valori di angolo di attrito e di coesione efficace sono stati stimati in base alla descrizione geologica e agli altri parametri ottenuti dalle prove in sito, riferendosi ad una caratterizzazione in termini di tensioni efficaci da argilla normalconsolidata.

- | | |
|-----------------------------|---|
| • Peso per unità di volume | $\gamma_{\text{nat}} = 19 \text{ kN/m}^3$ |
| • Angolo di attrito | $\phi' = 22\text{-}25^\circ$ |
| • Coesione efficace | $c' = 0\text{-}10 \text{ kPa}$ |
| • Coesione non drenata | $c_u = 20 - 40 \text{ kPa}$ |
| • Modulo di Young operativo | $E' = 10 \text{ MPa}$ |

7.5 PERMEABILITÀ

Le tratte all'aperto del tracciato di progetto interessano depositi alluvionali o detritici; nelle ricostruzioni proposte per l'area di Acquaviva e dello Scalo Filzi, basate sulle indagini geognostiche disponibili, i depositi suddetti sono suddivisi in tre classi di permeabilità sulla base dello schema di Figura 19 già riportato negli elaborati geologici.

Come già specificato nella Relazione Geologica, sono state assegnate classi di permeabilità piuttosto che un valore medio in quanto la classe esprime in modo più efficace la possibile variabilità associata ad ogni litologia.

Nello schema di Figura 19 ad ogni classe è associata una fascia blu e una azzurra. La fascia blu corrisponde all'intervallo di valori più probabile, mentre la fascia azzurra all'intervallo di valori possibile, ma meno probabile:

- i depositi prevalentemente ghiaiosi (Unità **G**) ricadono in classe di permeabilità 2;
- i depositi prevalentemente sabbiosi (Unità **S**) ricadono in classe di permeabilità 3;
- i depositi prevalentemente limoso e argillosi (Unità **L**) ricadono in classe di permeabilità 4.

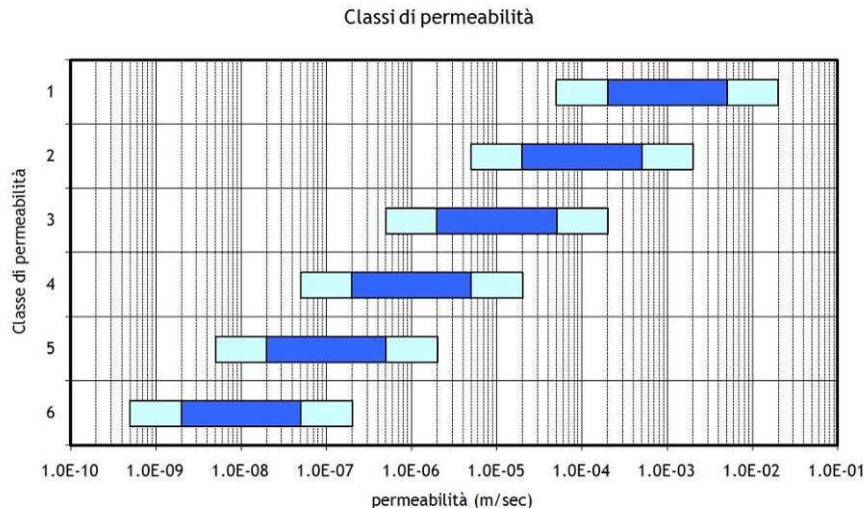



Figura 19 – Classi di permeabilità utilizzate per identificare le varie unità nei profili relativi alle tratte all'aperto di Acquaviva e Scalo Filzi.

Pertanto gli intervalli permeabilità delle unità geotecniche considerate sono le seguenti:

- unità geotecnica G $k = 10E^{-3} \div 10E^{-5}$ m/s;
- unità geotecnica S $k = 10E^{-4} \div 10E^{-6}$ m/s;
- unità geotecnica S $k = 10E^{-5} \div 10E^{-7}$ m/s.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	30 DI 45

7.6 TABELLA PARAMETRI

Si riporta di seguito una tabella riassuntiva con i parametri geotecnici per ogni unità.:

Unità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	c_u (kPa)	φ' (°)	E' (MPa)	k (m/s)
G	Ghiaie poligeniche con sabbia e sabbiose, localmente limose	20	0-5	-	35-38	30	$10E^{-3} \div 10E^{-5}$
S	Sabbie, sabbie con ghiaie e ghiaiose	20	0-5	-	32-35	20	$10E^{-4} \div 10E^{-6}$
L	Limi, limi con argille, argillosi	19	0-10	30-40	22-25	10	$10E^{-5} \div 10E^{-7}$

8 CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO.

8.1 RISPOSTA SISMICA

L'azione sismica che governa il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di esercizio – SLE e Ultimi - SLU) è qui definita in accordo alle Norme Tecniche 2018 (NTC2018), a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.


La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione S_e (T) corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica, in base alla classificazione delle opere in progetto. Successivamente, verranno definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

L'inquadramento sismo-tettonico, sismologico dell'area sono oggetto della relazione geologica a cui qui si fa diretto riferimento. Sempre oggetto della relazione geologica è la definizione della categoria di suolo e topografica di riferimento e della magnitudo sempre di riferimento per la verifica a liquefazione.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	31 DI 45

8.2 VITA NOMINALE, CLASSE D'USO, PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U = 0.7$.
- Classe II: Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... omissis Per le quali $C_U = 1.0$.
- Classe III: Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... omissis ... Per le quali $C_U = 1.5$.
- Classe IV: Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... omissis ... Per le quali $C_U = 2$.

Nel caso in esame si assume:

$$\text{Classe d'uso III } (C_U = 1.5)$$

Pertanto, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento V_R pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 75 \times 1.5 = 112.5 \text{ anni}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	32 DI 45

8.3 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione degli Stati Limite di verifica ed alle corrispondenti probabilità P_{VR} di realizzarsi nel periodo di riferimento V_R sopra definito.

Gli Stati Limite di riferimento per verifiche in presenza di sisma, così come definiti nelle NTC2018 al par. 3.2.1 sono:

Stato Limite Ultimo (SLU):

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Stato limite di Esercizio (SLE):

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico.
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.


Il tempo di ritorno T_R dell'azione sismica di verifica è legato al periodo di riferimento V_R ed alla probabilità di superamento P_{VR} dalla relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

I valori di periodo di ritorno dell'azione sismica, per i diversi Stati Limite e classi d'uso delle strutture sono riportati nella tabella che segue.

STATO LIMITE	T_R , anni
SLO	68
SLD	113
SLV	1068
SLC	2193

Tab 5: Periodi di ritorno per l'azione sismica di progetto, per i diversi stati limite.

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	33 DI 45

8.4 ACCELERAZIONE DI RIFERIMENTO SU SUOLO RIGIDO

In allegato alle NTC2018, i valori a_g , F_0 e T_c^* sono forniti per ognuno dei 10751 nodi di un reticolo di riferimento che copre il territorio nazionale. I valori corrispondenti a punti intermedi ai nodi di griglia si ottengono per interpolazione sui quattro punti adiacenti. Per definire i valori della pericolosità sismica di base, è stata selezionata l'opzione di scelta "per Comune" sul foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v.1.0.3b (distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 2009).

8.5 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per i fini del presente studio, gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati sulla base delle indicazioni delle NTC2018, le quali definiscono un fattore di sito S di amplificazione sismica come funzione sia della categoria di sottosuolo (S_S), sia dell'andamento della superficie topografica (attraverso il coefficiente S_T):

$$S = S_S \cdot S_T$$

In particolare, il sottosuolo viene categorizzato a fini sismici in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) definita come:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove:

- h_i = spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ = valore di velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N = numero di strati.
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, il tracciato corre all'interno di un sito sostanzialmente pianeggiante e viene classificato in categoria topografica T1 (Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, v. Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a $S_T = 1$.

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$.

Nel caso in esame, dalle prove MASW a disposizione, si ottiene una velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità $V_{s,30}$, pari circa a 200 m/s, pertanto si assegna una categoria di sottosuolo "C". I seguenti diagrammi sono stati redatti in corrispondenza del comune di Trento.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 11.1302 LATTITUDINE: 46.0793

Ricerca per comune

REGIONE: Trentino-Alto Adige PROVINCIA: Trento COMUNE: Trento

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>

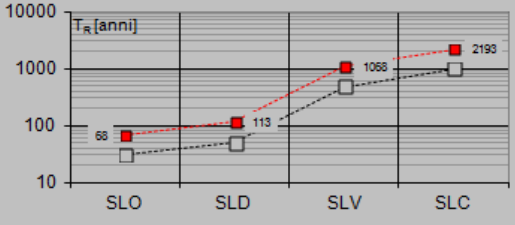
Stati limite ultimi - SLU

SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

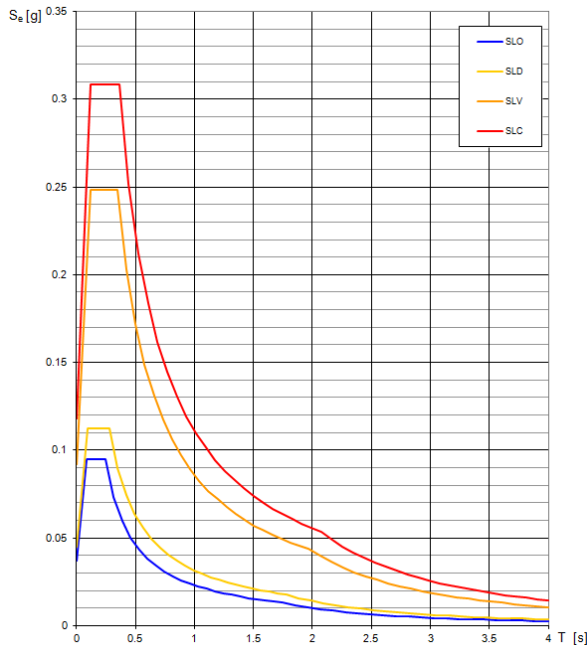
Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
-□..... Strategia scelta

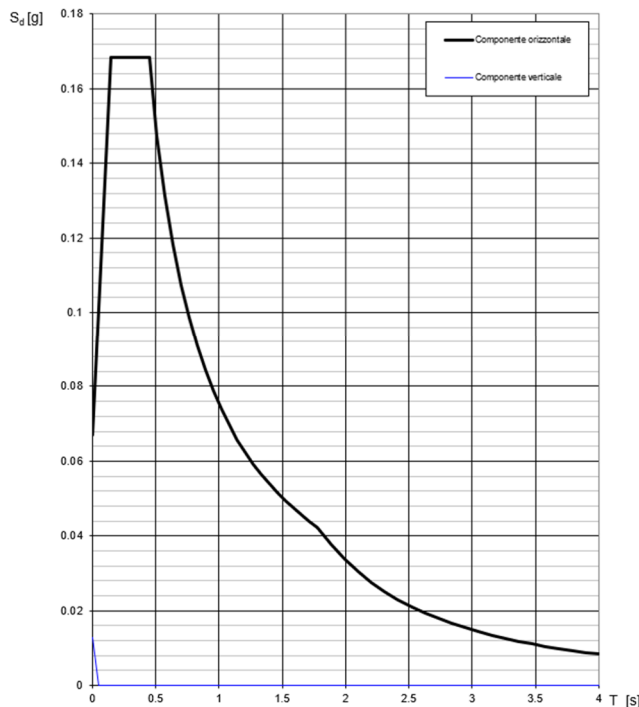
INTRO FASE 1 **FASE 2** FASE 3



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^+ per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^+ [s]
SLO	68	0.037	2.544	0.243
SLD	113	0.045	2.509	0.279
SLV	1068	0.092	2.700	0.346
SLC	2193	0.118	2.610	0.360

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLD

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLD
a_g	0.045 g
F_o	2.510
T_C^+	0.279 s
S_d	1500
C_s	1.599
S_v	1000
q	1000

Parametri dipendenti	
S	1500
η	1000
T_B	0.149 s
T_C^-	0.447 s
T_D	1.779 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_h, S_v \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (S+5)} \geq 0,55; \eta \leq 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C^- / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C^- = C_s \cdot T_C^+ \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C^- \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C^- \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left(\frac{T_C^-}{T} \right)$$

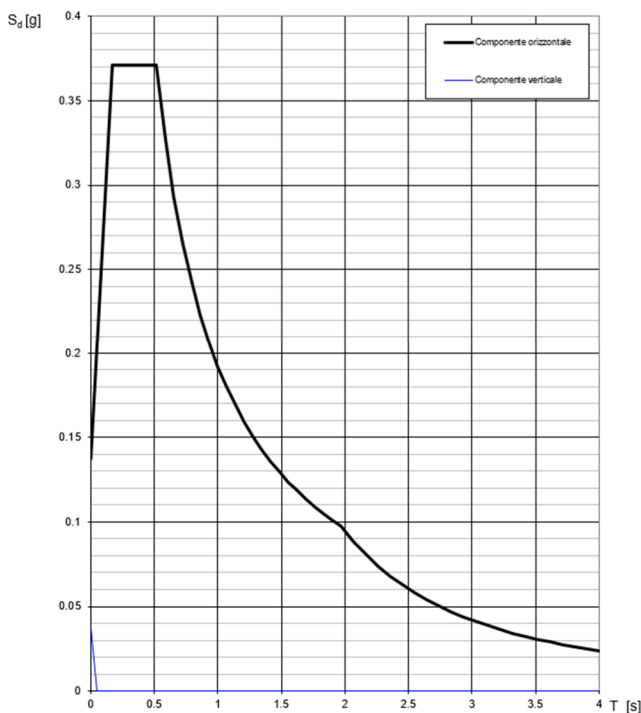
$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \left(\frac{T_C^-}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con η_q , dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_e [g]
0.000	0.067
0.149	0.168
0.447	0.168
0.510	0.148
0.574	0.131
0.637	0.118
0.701	0.107
0.764	0.099
0.828	0.091
0.891	0.085
0.954	0.079
1.018	0.074
1.081	0.070
1.145	0.066
1.209	0.062
1.272	0.059
1.335	0.056
1.398	0.054
1.462	0.052
1.525	0.049
1.589	0.047
1.652	0.046
1.716	0.044
1.779	0.042
1.842	0.038
1.905	0.034
2.000	0.030
2.200	0.028
2.300	0.025
2.400	0.023
2.500	0.021
2.625	0.019
2.750	0.018
2.875	0.017
3.000	0.016
3.125	0.015
3.250	0.014
3.375	0.013
3.500	0.013
3.625	0.012
3.750	0.011
3.875	0.010
4.000	0.009
4.125	0.009
4.250	0.008

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
a_g	0.092 g
F_a	2.702
T_a	0.348 s
S_a	1.500
C_a	1.488
S_a	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti	
S	1.500
η	1.000
T_a	0.172 s
T_b	0.517 s
T_c	1.866 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_a \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)
 $\eta = \sqrt{10} \cdot (5 + \frac{1}{T}) \geq 0,55; \eta = 1 / q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)
 $T_b = T_a / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)
 $T_c = C_a \cdot T_a$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)
 $T_0 = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)


Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$0 \leq T < T_b$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[\frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left(1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$
 $T_b \leq T < T_c$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$
 $T_c \leq T < T_a$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$
 $T_0 \leq T$ $S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_0}{T} \right)$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ulimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con η/q , dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	S_d [g]
0.000	0.137
0.172	0.371
0.517	0.371
0.586	0.328
0.655	0.293
0.724	0.265
0.793	0.242
0.862	0.223
0.931	0.206
1.000	0.192
1.069	0.180
1.138	0.169
1.207	0.159
1.276	0.150
1.345	0.143
1.414	0.136
1.483	0.129
1.552	0.124
1.621	0.119
1.690	0.114
1.759	0.109
1.828	0.105
1.897	0.101
1.966	0.098
2.063	0.089
2.160	0.081
2.257	0.074
2.354	0.068
2.451	0.063
2.547	0.058
2.644	0.054
2.741	0.050
2.838	0.047
2.935	0.044
3.032	0.041
3.128	0.039
3.225	0.036
3.322	0.034
3.419	0.032
3.516	0.031
3.613	0.029
3.709	0.027
3.806	0.025
3.903	0.025
4.000	0.024

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	37 DI 45

9 CONSIDERAZIONI SULLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni dinamiche (terremoti) che agiscono in condizioni non drenate.

L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende da:

- Caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata);
- Proprietà geotecniche dei terreni;
- Caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda.

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante).

Relativamente alle verifiche a liquefazione la normativa di riferimento permette di escluderle quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve rappresentate in Figura 9-1 (coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$) e Figura 9-2 (coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$).

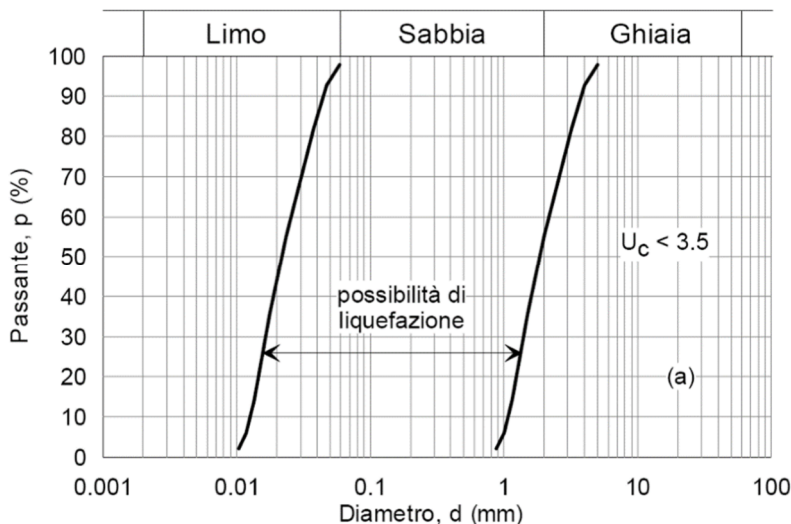


Figura 9-1: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c < 3.5$)

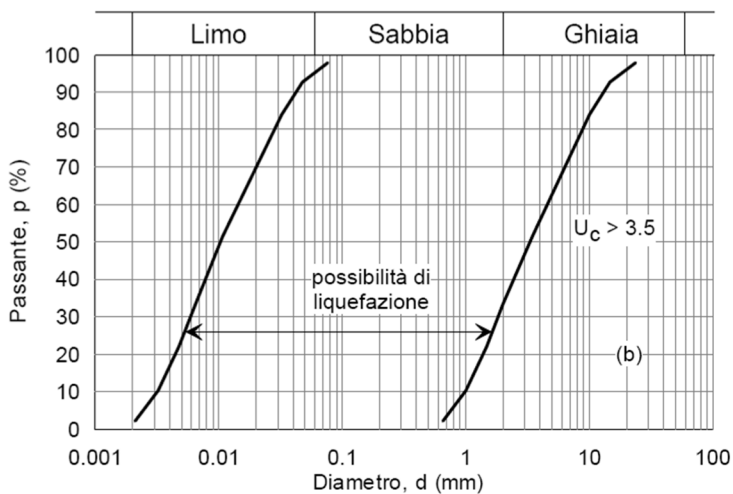



Figura 9-2: Dominio di suscettibilità alla liquefazione dei terreni ($U_c > 3.5$).

Secondo l'Eurocodice 8 è, invece, possibile escludere la liquefazione quando l'accelerazione massima è minore di 0.15 g ed è soddisfatta almeno una delle seguenti condizioni:

- Le sabbie hanno un contenuto di argilla maggiore del 20% con un indice di plasticità $I_p > 10\%$;
- Le sabbie hanno un contenuto di limo maggiore del 35% e, allo stesso tempo, il valore dei colpi SPT normalizzato alla pressione di confinamento e al rapporto di energia $(N1)_{60} > 20$;
- Le sabbie contengono una frazione fine non trascurabile ($FC > 5\%$), con il valore del numero di colpi SPT normalizzato alla pressione di confinamento e al rapporto di energia $(N1)_{60} > 30$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	39 DI 45

Per il sito in esame, l'accelerazione massima attesa al piano campagna, in condizioni di campo libero, risulta essere di poco superiore al limite definito da normativa, risultando prossima a 0.13g.

Con le informazioni disponibili non è possibile verificare le condizioni di esclusione previste dalle NTC2018 e dall'Eurocodice 8.

Pertanto, in corrispondenza delle verticali indagate tramite le 2 prove MASW (M01 e M02 di cui al paragrafo 7.4), sono state eseguite analisi semplificate, per verificare la presenza di orizzonti stratigrafici potenzialmente liquefacibili.

La verifica si sviluppa controllando che, ad una generica profondità, la sollecitazione, CSR, sia inferiore al valore della resistenza, CRR, ridotto per un opportuno coefficiente di sicurezza, FSL, che assume il valore di 1.25 così come indicato nell'Eurocodice 8.

Per le verifiche nei confronti del rischio liquefazione è stato fatto ricorso ad espressioni per la stima dell'azione, Cyclic Stress Ratio (CSR), che tengono conto, in maniera semplificata, dei parametri che influenzano la risposta del banco di terreno assegnati la magnitudo dell'evento e la massima accelerazione attesa a piano campagna.

Il valore di resistenza, Cyclic Resistance Ratio, CRR, viene individuato sulla base di abachi di origine semi-empirica, in cui la resistenza del terreno potenzialmente liquefacibile è espressa o a partire dai risultati di prove penetrometriche, siano esse statiche o dinamiche, ovvero dai risultati delle prove di misura di velocità di propagazione delle onde di taglio.

Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65r_d \frac{\sigma_v a_{max}}{\sigma'_v g} = 0.65r_d \frac{\sigma_v S_S S_T a_g}{\sigma'_v g}$$

in cui:

τ_{av} è la tensione tangenziale media agente alla profondità di verifica;


σ'_v è la tensione verticale efficace agente in sito agente alla profondità di verifica;

σ_v è la tensione verticale totale agente in sito agente alla profondità di verifica;

r_d è un coefficiente che tiene conto della riduzione dell'azione sismica all'aumentare della profondità, calcolato come proposto da Golesorkhi (1989):

$$r_d = \exp(\alpha(z) + \beta(z)M_w)$$

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right);$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	40 DI 45

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 \operatorname{sen} \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right);$$

g è l'accelerazione di gravità;

a_{\max} è l'accelerazione orizzontale di picco;

a_g è l'accelerazione orizzontale al bedrock, valutata per il periodo di ritorno definito per l'opera;

S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento, M_w , pari a 7.5, come consuetudine per eventi di magnitudo diversa è stato ricondotto il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5, $(CSR)_{M=7.5} = CSR/MSF$, attraverso il coefficiente MSF valutato sulla base dell'espressione indicata da Idriss (1999) e riportata nelle linee guida AGI (2005):

$$MSF = 6.9 \exp \left(\frac{-M_w}{4} \right) - 0.058 \leq 1.80$$

Nel caso in esame è stata considerata una magnitudo di riferimento $M = 6,60$.

La valutazione del fattore CRR da prove di misura della velocità delle onde S, V_s , è ricondotta ad un valore di riferimento V_{S1} attraverso la relazione (Sykora, 1987; Robertson et al., 1992):

$$V_{S1} = C_v \cdot V_s$$

in cui


$$C_v \text{ rappresenta un coefficiente di normalizzazione pari a } C_v = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \leq 1.40$$

P_a rappresenta la pressione atmosferica.

Dal valore di V_{S1} , la resistenza alla liquefazione può essere ottenuta attraverso abachi di letteratura, ricavati dall'osservazione dei casi storici, nei quali sono rappresentate le curve limite che separano le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione aventi equazione:

$$CRR = 0.022 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 2.80 \left(\frac{1}{V_{S1}^* - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1}^*} \right)$$

Il parametro V_{S1}^* rappresenta il valore di soglia della velocità delle onde di taglio normalizzata, V_{S1} , oltre il quale la liquefazione non avviene. Esso può essere valutato, in funzione della frazione di fine, FC, attraverso le seguenti relazioni:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	41 DI 45

per $FC \leq 5\% \rightarrow V_{S1}^* = 215 \text{ m/s}$;

per $5\% \leq FC \leq 35\% \rightarrow V_{S1}^* = 215 - 0.5 (FC - 5) \text{ m/s}$;

per $FC > 35\% \rightarrow V_{S1}^* = 200 \text{ m/s}$.

Nelle analisi condotte, a vantaggio di sicurezza, è stato trascurato il contenuto di frazione fina.

L'equazione per stimare il CRR è valida per stati tensionali efficaci limitati; per tensioni efficaci superiori a 100kPa l'equazione che valuta la resistenza deve essere moltiplicata per un coefficiente correttivo K_σ che assume la forma:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \ln \left(\frac{\sigma'_v}{p_a} \right) \leq 1$$

con $C_\sigma = 1/[18.9 - 3.1 \cdot (\sigma'_v / p_a)^{1.976}] \leq 0.3$.

Al fine di valutare il rischio complessivo di liquefazione del terreno lungo la verticale oggetto di studio si è valutato il potenziale di liquefazione, PL, convenzionalmente esteso fino a - 20 m p.c., mediante la seguente espressione:

$$I_L = \sum_{i=1}^n I_{L,i\text{-esimo}} = \sum_{i=1}^n FL w(z)$$

dove:

n è il numero degli strati;

FL è dato dall'espressione $FL = \begin{cases} 0 & \text{se } FSL > 1 \\ 1 - FSL & \text{se } FSL < 1 \end{cases}$

$w(z)$ è definito come $w(z) = 10 \cdot 0.5 \cdot z$

Il concetto della probabilità di liquefazione, PL, nasce dalla considerazione che nei metodi semplificati il coefficiente di sicurezza teorico ($FSL = CRR / CSR$) non implica, in pratica, che se $FSL \leq 1$ si avrà liquefazione e se $FSL > 1$ non si avrà liquefazione. Negli anni recenti, da parte di diversi autori, è stata introdotta la valutazione del potenziale di liquefazione in termini probabilistici.

Iwasaki et al (1982) definiscono 4 categorie in funzione del valore assunto dal potenziale di liquefazione:

PL = 0 Non esiste un potenziale di rottura a liquefazione;

$0 < PL \leq 5$ Il potenziale di rottura è basso;

$5 < PL \leq 15$ Il potenziale di rottura è elevato;



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI
TRENTO

Relazione geotecnica generale

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	42 DI 45

PL > 15 Il potenziale di rottura è estremamente elevato.

Nel caso in esame le analisi, svolte prendendo come riferimento una profondità di 20 m (oltre tale profondità il fenomeno non risulta critico), hanno evidenziato in corrispondenza della MASW M01 la presenza di uno strato di sabbia di circa 1 m (tra 5 e 6 m da p.c.) e di uno strato di sabbia di circa 2 m (tra 14 e 16 m da p.c.) potenzialmente liquefacibili. La probabilità di liquefazione (non è detto infatti che un fattore FSL inferiore all'unità implichi la rottura), è risultata comunque bassa (PL=0.7).

La MASW M02 ha rilevato invece la presenza di uno strato di sabbia di circa 1 m (tra 19 e 20 m da p.c.) esposto al possibile rischio di liquefazione. In questo caso la probabilità di liquefazione è molto bassa (PL=0).

Alla luce dei risultati delle analisi semplificate, considerando la tipologia delle opere in progetto, il cui comportamento è poco influenzato da una perdita di resistenza del terreno al contorno, si ritiene che i rischi legati ai fenomeni di liquefazione siano trascurabili. Tuttavia, nelle successive fasi di progettazione, lungo tutto lo sviluppo dell'opera, dovranno essere valutate in dettaglio:

- l'esatta composizione granulometrica degli strati potenzialmente liquefacibili
- l'effettiva velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno (Vs)
- l'andamento della profondità della falda
- gli effetti di un'eventuale perdita di resistenza del terreno sulle opere in progetto.

VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: MASW1

DATI DI PROGETTO:

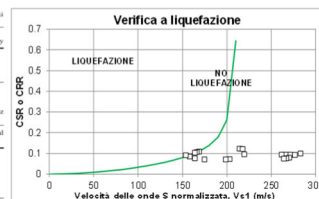
Profondità della falda	Z _w	3.00 (m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0 (kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M _w	6.6 (-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S ₀	1.50 (-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S ₁	1.00 (-)
Accelerazione sismica	a ₀ /g	0.094 (-)
Accelerazione sismica massima	a _{max} /g	0.141 (-)
Teoria per il calcolo di MSF AGI (2005)	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd Blake (1996)		
Teoria per il calcolo di CRR (Idrisi e Boulanger (2004))		

Table 1. Liquefaction potential categories based on I_s (Iwasaki et al. 1982)

I _s	Liquefaction potential category
0	Very low
0 < I _s < 1	Low
1 < I _s < 15	High
15 < I _s	Very high

Table 2. Liquefaction potential classification proposed by Seed (2002)

I _s	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable (based on F _{1,1.2})
0 < I _s < 1	Low
1 < I _s < 15	Moderate
15 < I _s	High
	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0.673 - BASSO**
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SONNMEZ et al. (2003): **PL = 0.808 - BASSO**

z	zmed	Litologia	Liquefacibile?	V _s	V _{s,med}	V _s	V _{s,med}	FC	σ _v	σ' _{v0}	r ₀	Cv	V _{s1}	V _{s1} '	Co	K _σ	CSR	CSR _{2,ref}	CRR	FSL	ESITO (FSL≥1,25)	PL
Int	Int	Int		[m/s]	[m/s]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0	0								0	0												
1.0	0.5	R	S	19.0	19.0	145.0	145.0		9.5	9.5	0.988	1.40	203.0	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	0.311	4.31	NO LIQUEFAZIONE	0.01
2.0	1.5	L	S	19.0	19.0	145.0	145.0		28.5	28.5	0.990	1.37	198.5	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	0.243	3.39	NO LIQUEFAZIONE	0.02
3.0	2.5	L	S	19.0	19.0	145.0	145.0		47.5	47.5	0.983	1.20	174.7	215.0	0.00	1.00	0.090	0.071	0.124	1.74	NO LIQUEFAZIONE	0.14
4.0	3.5	L	S	19.0	19.0	145.0	145.0		66.5	61.5	0.976	1.13	163.7	215.0	0.00	1.00	0.097	0.076	0.101	1.32	NO LIQUEFAZIONE	0.29
5.0	4.5	S	S	19.0	19.0	145.0	145.0		85.5	70.5	0.969	1.09	158.2	215.0	0.00	1.00	0.108	0.085	0.091	1.08	LIQUEFAZIONE	0.44
6.0	5.5	S	S	19.0	19.0	145.0	145.0		104.5	78.5	0.962	1.08	153.6	215.0	0.00	1.00	0.116	0.091	0.084	0.92	LIQUEFAZIONE	0.57
7.0	6.5	G	S	19.0	19.0	281.0	213.0		123.5	88.5	0.953	1.03	219.6	215.0	0.00	1.00	0.122	0.095	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
8.0	7.5	G	S	19.0	19.0	281.0	281.0		142.5	97.5	0.943	1.01	282.8	215.0	0.00	1.00	0.126	0.100	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
9.0	8.5	G	S	19.0	19.0	281.0	281.0		161.5	106.5	0.930	0.98	276.6	215.0	-0.24	1.10	0.129	0.093	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
10.0	9.5	G	S	19.0	19.0	281.0	281.0		180.5	115.5	0.914	0.96	271.1	215.0	-0.30	1.10	0.131	0.094	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
11.0	10.5	G	S	19.0	19.0	281.0	281.0		199.5	124.5	0.894	0.95	266.0	215.0	-0.40	1.10	0.131	0.094	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
12.0	11.5	S	S	19.0	19.0	281.0	281.0		218.5	133.5	0.870	0.93	261.4	215.0	-0.55	1.10	0.131	0.094	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
13.0	12.5	S	S	19.0	19.0	187.0	234.0		237.5	142.5	0.842	0.92	214.2	215.0	0.20	0.82	0.129	0.123	3.468	26.19	NO LIQUEFAZIONE	0.00
14.0	13.5	S	S	19.0	19.0	187.0	187.0		256.5	151.5	0.811	0.90	168.6	215.0	0.10	0.91	0.126	0.109	0.110	1.00	LIQUEFAZIONE	0.50
15.0	14.5	S	S	19.0	19.0	187.0	187.0		275.5	160.5	0.778	0.89	166.1	215.0	0.10	0.90	0.122	0.107	0.105	0.98	LIQUEFAZIONE	0.51
16.0	15.5	S	S	19.0	19.0	187.0	187.0		294.5	169.5	0.744	0.88	163.9	215.0	0.09	0.90	0.118	0.104	0.101	0.97	LIQUEFAZIONE	0.53
17.0	16.5	S	S	19.0	19.0	316.0	251.5		313.5	178.5	0.712	0.87	217.6	215.0	0.22	0.75	0.115	0.121	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
18.0	17.5	S	S	19.0	19.0	316.0	316.0		332.5	187.5	0.681	0.85	270.0	215.0	-0.32	1.10	0.111	0.079	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
19.0	18.5	S	S	19.0	19.0	316.0	316.0		351.5	196.5	0.654	0.84	266.9	215.0	-0.37	1.10	0.107	0.077	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-
20.0	19.5	S	S	19.0	19.0	316.0	316.0		370.5	205.5	0.629	0.84	263.9	215.0	-0.46	1.10	0.104	0.075	-	-	NO LIQUEFAZIONE	-



ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

Relazione geotecnica generale

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IBOQ 3A R 10 RH GE 0006 001 B 43 DI 45

VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Release: v3

OPERA: MASW2

DA TI DI PROGETTO:

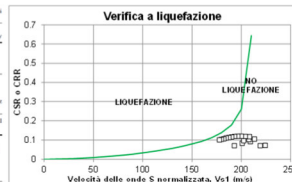
Profondità della falda	z_w	2.50 (m)
Sovraccarico agente a p.c.	q	0 (kPa)
Magnitudo di momento attesa dell'evento sismico	M_w	6.6 (-)
Coefficiente Amplificazione Stratigrafico	S_g	1.50 (-)
Coefficiente Amplificazione Topografico	S_T	1.00 (-)
Accelerazione sismica	a_g/g	0.094 (-)
Accelerazione sismica massima	a_{max}/g	0.141 (-)
Teoria per il calcolo di MSF AGI (2005)	MSF	1.267 (-)
Teoria per il calcolo di rd Blake (1996)		
Teoria per il calcolo di CRR Idriss e Boulanger (2004)		

Table 1 Liquefaction potential categories based on F_L (Fruwaki et al. 1982)

F_L	Liquefaction potential category
0	Very low
$0 < F_L < 5$	Low
$5 < F_L < 15$	High
$F_L > 15$	Very high


Table 2 Liquefaction potential classification proposed by Sommez (2003)

F_L	Liquefaction potential category
0	Non-liquefiable
$0 < F_L < 2$	Moderate
$2 < F_L < 5$	High
$5 < F_L < 15$	Very high



POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO IWASAKI et al. (1982): **PL = 0 - MOLTO BASSO**
 POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE SECONDO SOMMEZ et al. (2003): **PL = 0.000 - BASSO**

z	zmed	Litologia	Liquefacibile?	γ_{sat}	γ_{sat}	V_s	$V_{s,med}$	FC	σ_v	σ'_{v0}	τ_{d0}	Cv	V_{st}	V_{st}^*	Co	Kor	CSR	CSR _{2.5%}	CRR	FSL	ESITO (FSL _{1,2,5})	FL	w	IL _{lim}	PL
[m]	[m]	[L]	[S]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[m/s]	[m/s]	[-]	[kPa]	[kPa]	[-]	[-]	[m/s]	[m/s]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0	0	L	S	19.0	19.0	160.0	160.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	NO LIQUEFAZIONE	0.000	9.8	0.00	-
1.0	0.5	L	S	19.0	19.0	160.0	160.0	0	9.5	5.5	0.998	1.40	224.0	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	-	-	NO LIQUEFAZIONE	0.000	9.3	0.00	-
2.0	1.5	L	S	19.0	19.0	160.0	160.0	0	28.5	28.5	0.990	1.37	219.0	215.0	0.00	1.00	0.091	0.072	-	-	NO LIQUEFAZIONE	0.000	9.3	0.00	-
3.0	2.5	S	S	19.0	19.0	160.0	160.0	0	47.5	47.5	0.963	1.20	192.7	215.0	0.00	1.00	0.090	0.071	0.194	2.73	NO LIQUEFAZIONE	0.000	8.8	0.00	0.03
4.0	3.5	S	S	19.0	19.0	188.0	174.0	0	65.5	65.5	0.976	1.15	209.7	215.0	0.00	1.00	0.105	0.083	0.271	3.27	NO LIQUEFAZIONE	0.000	8.3	0.00	0.02
5.0	4.5	S	S	19.0	19.0	188.0	188.0	0	85.5	65.5	0.969	1.11	209.0	215.0	0.00	1.00	0.116	0.091	0.548	5.99	NO LIQUEFAZIONE	0.000	7.8	0.00	0.00
6.0	5.5	S	S	19.0	19.0	188.0	188.0	0	104.5	74.5	0.962	1.08	202.4	215.0	0.00	1.00	0.124	0.098	0.299	3.05	NO LIQUEFAZIONE	0.000	7.3	0.00	0.02
7.0	6.5	G	S	19.0	19.0	209.0	199.5	0	123.5	83.5	0.953	1.05	207.7	215.0	0.00	1.00	0.129	0.102	0.463	4.54	NO LIQUEFAZIONE	0.000	6.8	0.00	0.01
8.0	7.5	G	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	142.5	52.5	0.943	1.02	213.1	215.0	0.00	1.00	0.133	0.105	1.571	14.95	NO LIQUEFAZIONE	0.000	6.3	0.00	0.00
9.0	8.5	G	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	161.5	101.5	0.930	1.00	208.2	215.0	0.18	0.92	0.136	0.117	0.496	4.24	NO LIQUEFAZIONE	0.000	5.8	0.00	0.01
10.0	9.5	G	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	180.5	110.5	0.914	0.98	203.8	215.0	0.16	0.91	0.137	0.119	0.329	2.76	NO LIQUEFAZIONE	0.000	5.3	0.00	0.03
11.0	10.5	G	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	199.5	119.5	0.894	0.96	199.9	215.0	0.16	0.90	0.137	0.120	0.260	2.16	NO LIQUEFAZIONE	0.000	4.8	0.00	0.07
12.0	11.5	G	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	218.5	128.5	0.870	0.94	196.3	215.0	0.14	0.89	0.136	0.120	0.221	1.84	NO LIQUEFAZIONE	0.000	4.3	0.00	0.12
13.0	12.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	237.5	137.5	0.842	0.92	193.0	215.0	0.13	0.89	0.133	0.119	0.196	1.65	NO LIQUEFAZIONE	0.000	3.8	0.00	0.16
14.0	13.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	256.5	146.5	0.811	0.91	190.0	215.0	0.13	0.88	0.130	0.117	0.178	1.53	NO LIQUEFAZIONE	0.000	3.3	0.00	0.20
15.0	14.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	275.5	155.5	0.778	0.90	187.2	215.0	0.12	0.88	0.126	0.114	0.165	1.45	NO LIQUEFAZIONE	0.000	2.8	0.00	0.23
16.0	15.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	294.5	164.5	0.744	0.88	184.5	215.0	0.12	0.87	0.122	0.110	0.154	1.39	NO LIQUEFAZIONE	0.000	2.3	0.00	0.25
17.0	16.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	313.5	173.5	0.712	0.87	182.1	215.0	0.11	0.87	0.118	0.107	0.145	1.36	NO LIQUEFAZIONE	0.000	1.8	0.00	0.27
18.0	17.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	332.5	182.5	0.681	0.86	179.9	215.0	0.11	0.87	0.114	0.104	0.138	1.33	NO LIQUEFAZIONE	0.000	1.3	0.00	0.28
19.0	18.5	S	S	19.0	19.0	209.0	209.0	0	351.5	191.5	0.654	0.85	177.7	215.0	0.11	0.86	0.110	0.100	0.131	1.31	NO LIQUEFAZIONE	0.000	0.8	0.00	0.29
20.0	19.5	S	S	19.0	19.0	188.0	198.5	0	370.5	200.5	0.629	0.84	166.8	215.0	0.10	0.87	0.107	0.096	0.106	1.10	LIQUEFAZIONE	0.000	0.3	0.00	0.42

	ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO					
	Relazione geotecnica generale	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBOQ	3A R 10	RH	GE 0006 001	B	44 DI 45

10 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LE SUCCESSIVE FASI PROGETTUALI

Nelle successive fasi della progettazione dovranno essere realizzate specifiche campagne di indagini geognostiche, con prove in sito e prove di laboratorio, per caratterizzare in dettaglio i terreni e gli ammassi rocciosi interagenti con le opere previste in progetto.

Le campagne di indagini eseguite, in accordo al D.M. 17/01/2018, dovranno investigare il volume significativo delle singole opere, ovvero quella parte del sottosuolo che è influenzata dalla costruzione dell'opera e che, per contro, influenza il comportamento dell'opera stessa.

Viste le caratteristiche delle opere previste in progetto le indagini dovranno consentire di definire con maggiore dettaglio le caratteristiche geotecniche dei terreni, in particolar modo di quelli coesivi, e di individuare lungo tutta la linea l'esatta posizione della falda, il suo gradiente idraulico, ed eventuali oscillazioni nel tempo. Le indagini dovranno infine consentire di valutare in dettaglio il potenziale di liquefazione dei terreni (ad es. esatta composizione granulometrica degli strati potenzialmente liquefacibili, l'effettiva velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno (V_s), ecc).

Nello specifico le indagini dovranno consentire di definire, con un livello di dettaglio legato al livello di progettazione in corso:

- le caratteristiche di resistenza (sia in termini di tensioni efficaci che totali) e di deformabilità dei terreni interagenti con le opere,
- le caratteristiche di permeabilità dei terreni;
- i contatti stratigrafici, sia lungo il profilo della linea sia trasversalmente;
- l'esatta posizione del livello di falda, e la sua variazione nel tempo;
- il gradiente idraulico;
- il profilo sismostratigrafico del sottosuolo lungo l'intero tracciato.

Le informazioni sopra elencate, necessarie per lo sviluppo delle successive fasi progettuali, verranno ricavate attraverso la realizzazione delle seguenti indagini:

- Sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- Prove penetrometriche dinamiche tipo DPSH;
- Prove Down Hole;
- Stendimenti sismici a rifrazione (tomografia sismica a rifrazione in onde P e S);
- Installazione Piezometri e letture piezometriche;
- Prove Masw;
- Prove HVSR;

Durante l'esecuzione dei sondaggi dovranno essere eseguite le seguenti attività:

- il rilievo stratigrafico con descrizione degli intervalli rinvenuti nel corso della perforazione e dei loro caratteri peculiari;
- prove penetrometriche dinamiche di tipo SPT (Standard Penetration Test);
- prove pressiometriche in foro tipo MPM e Dilaroc;
- prove di permeabilità tipo Lefranc e Lugeon;
- per gli intervalli rocciosi: indice RQD, recupero percentuale di carotaggio, caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso secondo gli standard ISRM;
- il prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati e litoidi;

**ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA****ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA****LOTTO 3A: PROJECT REVIEW CIRCONVALLAZIONE DI
TRENTO**

Relazione geotecnica generale

PROGETTO

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IBOQ

3A R 10

RH

GE 0006 001

B

45 DI 45

- misure, sugli intervalli coesivi, per mezzo di strumenti tascabili quali pocket penetrometrico (preferibilmente con fondo scala di 10 kg/cm²) e scissometro (torvane)
- fotografie del materiale depositato nelle cassette catalogatrici;

I campioni prelevati (indisturbati, rimaneggiati e litoidi) verranno sottoposti, quando possibile, ad adeguate prove geotecniche di laboratorio al fine di una caratterizzazione fisica e meccanica delle unità rilevate. Il prelievo di campioni litoidi dovrà avvenire in via prioritaria mediante idoneo campionatore e secondariamente mediante prelievo da cassetta.

Indicativamente le prove di laboratorio da eseguire sono indicate nella tabella seguente.

PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO
Descrizione dei campioni
Analisi granulometrica mediante setacci
Analisi granulometrica mediante sedimentazione
Determinazione della massa volumica umida (y _n)
Determinazione dell'umidità del campione
Determinazione della massa volumica reale dei grani (y _s)
Determinazione della massa volumica apparente dei grani (y _d)
Determinazione dei limiti di Atterberg
Prova di compressione ad E.L.L. su campioni di terra indisturbati
Prova edometrica su campioni di terra
Determinazione del coefficiente di consolidazione secondaria
Prova di taglio diretto su 3 provini indisturbati o ricostituiti (con scatola di Casagrande)
Prova di compressione triassiale
Tipo UU
Tipo CIU
Tipo CID
Prova di colonna risonante
Prova triassiale ciclica
Misure di V _p e V _s su carote litoidi
Determinazione della massa volumica reale e apparente e della porosità totale aperta per pietre naturali
Prove di compressione uniassiale su provino 6" con rilievo della curva di deformazione
Prove triassiale su roccia
Prova di compressione a carico concentrato (point load test- alternativo alle prove di compressione)