

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J94J17000040001

U.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA BOLZANO – MERANO

REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI -
SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE – OPERE ALL'APERTO

SCALA:

-

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

N B 1 D 0 1 D 2 6 R G G E 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	Technital	mag.-21	G. Nitti	mag.-21	C. Mazzocchi	mag.-21	A. Perego	mag.-21
				<i>G. Nitti</i>		<i>C. Mazzocchi</i>			



File: NB1D01D26RGGE0000001A.doc

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORME E RIFERIMENTI	5
3	DOCUMENTI REFERENZIATI	6
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	7
4.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	7
4.2	GEOMORFOLOGIA	8
4.3	ELEMENTI DI IDROGEOLOGIA.....	8
4.4	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	8
5	INDAGINI E RILIEVI.....	12
5.1	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
5.2	ASSETTO STRATIGRAFICO.....	14
5.3	PERMEABILITA' E DATI PIEZOMETRICI.....	14
5.4	ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	16
5.5	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT	18
5.6	PROVE PRESSIOMETRICHE E DILATOMETRICA.....	22
	PROSPEZIONI GEOFISICHE.....	23
6	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI TIPO.....	27
6.1	PARAMETRI GEOTECNICI DI INPUT	28
7	CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	29
7.1	SISMICITA' DELL'AREA	29
7.2	PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	34
8	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE.....	35

FIGURE

FIGURA 1: COLLOCAZIONE INTERVENTO	4
FIGURA 2: STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DI PROGETTO CON TRACCIATO E INDAGINI – PRIMO TRATTO ALL'APERTO.	10
FIGURA 3: STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA DI PROGETTO CON TRACCIATO E INDAGINI – SECONDO TRATTO ALL'APERTO.	11
FIGURA 4: PROFILO GEOLOGICO DI PROGETTO.	11
FIGURA 5: UBICAZIONE SONDAGGI GEOGNOSTICI	13
FIGURA 6: CARTA DI PLASTICITÀ DI CASAGRANDE	16
FIGURA 7: UBICAZIONI PROSPEZIONI SISMICHE MASW / RE.MI	24
FIGURA 8: UBICAZIONI PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE (ONDA P ED S)	26
FIGURA 9: DEPOSITO ALLUVIONALE AL SONDAGGIO VG2	27
FIGURA 10: CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	29
FIGURA 11: VALORI DI PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO	30

TABELLE

TABELLA 1: ELENCO DEI SONDAGGI UTILIZZATI	12
TABELLA 2: COEFFICIENTI DI PERMEABILITÀ DA PROVE <i>LEFRANC</i>	14
TABELLA 3: LETTURE FREATIMETRICHE (M DAL P.C.)	15
TABELLA 4: RESISTENZA AL TAGLIO DI CAMPIONI DI ALLUVIONI	17
TABELLA 5: PARAMETRI GEOTECNICI DI CAMPIONI DI ROCCIA	17
TABELLA 6: CALCOLO DEL MODULO ELASTICO E DELL'ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DA NSPT PER IL VERSANTE VIRGOLO-NORD.	19
TABELLA 7: CALCOLO DEL MODULO ELASTICO E DELL'ANGOLO DI RESISTENZA AL TAGLIO DA NSPT PER IL VERSANTE VIRGOLO-SUD.	21
TABELLA 8: PROVE PRESSIOMETRICHE	22
TABELLA 9: PROVA DILATOMETRICA	23
TABELLA 10: DETERMINAZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	25
TABELLA 11: VALORI DI ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SUOLO A_g CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DEL 10% IN 50 ANNI, RIFERITO A SUOLI RIGIDI CARATTERIZZATI DA $V_s,30>800$ M/S	31
TABELLA 12: VALORI DEI PARAMETRI DI A_g , F_0 , T_c^* PER I PERIODI DI RITORNO T_R DI RIFERIMENTO	31

1 PREMESSA

Il Progetto del nuovo Tunnel del Virgolo a tre binari e lo spostamento del Bivio della linea Meranese, fa parte degli interventi individuati nell'Accordo Quadro sottoscritto da RFI e Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige per l'implementazione della capacità dell'infrastruttura ferroviaria.

Oltre al nuovo tunnel del Virgolo, è prevista la realizzazione del tratto di variante a tre binari per una lunghezza complessiva di circa 1,1 chilometri. La tratta ha origine al Km 148+529.86 della linea Verona-Brennero, poco prima del sottovia ferroviario di via Roma, e termina al Km 149+790.04, in corrispondenza del Ponte sul fiume Isarco.

La nuova sede ferroviaria a tre binari si sviluppa in parte in variante, con una galleria di lunghezza complessiva di poco superiore a 500 metri e in parte allo scoperto, dove, per la maggior parte dello sviluppo, risulta in affiancamento alla sede esistente. lo spostamento Bivio Meranese consiste nella demolizione delle comunicazioni esistenti per consentire l'accesso al nuovo deposito SAD dal binario della Meranese e la realizzazione di una nuova connessione con la linea per Merano al Km 147+400 LS.

La seguente figura mostra la localizzazione dell'intervento.



Figura 1: Collocazione intervento

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RGGE0000001	REV. A	FOGLIO 5 di 36

2 NORME E RIFERIMENTI

1. D. Lgs. 50/2016 - Codice dei contratti pubblici
2. D. Lgs 19/04/2017, n. 56, cosiddetto “*Correttivo*” al Codice dei contratti pubblici
3. D.M. 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018
4. Circ. 21 gennaio 2019 n.7 “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17 gennaio 2018”
5. RFI DTC SI MA IFS 001 D Manuale di progettazione delle opere civili.

3 DOCUMENTI REFERENZIATI

ELABORATO	CODIFICA
GEOTECNICA	
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 1/4	NB1D01D26F7GE0000001A
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 2/4	NB1D01D26F7GE0000002A
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 3/4	NB1D01D26F7GE0000003A
Profilo longitudinale geotecnico linea ferroviaria - Tav. 4/4	NB1D01D26F7GE0000004A
Profilo longitudinale geotecnico via Piè di Virgolo	NB1D01D26F7GE0000005A

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

4.1 Inquadramento geologico

Si riporta un breve inquadramento geologico e geomorfologico dell'area interessata dal progetto. Per gli approfondimenti si rimanda allo specifico elaborato "Relazione geologica" NB1D01D69RGGE0001001B.

Le rocce affioranti nell'area di Bolzano fanno parte della "Piattaforma Porfirica Atesina" (porfidi quarziferi) o, più correttamente, del "Gruppo Vulcanico Atesino" (AVG), secondo la recente nomenclatura stratigrafica. Si tratta di una potente successione vulcanica di età permiana, eruttate da un'enorme struttura denominata "caldera di Bolzano, del diametro compreso tra 60 e 70 km circa.

Più in dettaglio sono presenti le successioni più recenti del Gruppo Vulcanico Atesino, in particolare nella zona del Colle sono affioranti le sequenze di riempimento della caldera terminale, denominate Formazione di Gries e Formazione di Ora.

- La **Formazione di Gries** (IGR) presenta spessori fino a 150 metri, ed è costituita da lapilli-tuff riolitici saldati di colore rosso scuro-violaceo ad aspetto massivo o blandamente orientato parallelamente alla giacitura. In alcune zone la porzione superiore o tutta a formazione è costituita da breccie vulcanoclastiche (IGRa) in parte grossolanamente stratificate. I clasti come la matrice sono esclusivamente costituiti da frammenti della formazione originaria. Sono presenti occasionali vene di **selce rossa**.
- La **Formazione di Ora (ORA)** rappresenta il deposito vulcanico più recente del Gruppo Vulcanico Atesino. È il prodotto della messa in posto di enormi volumi di flussi piroclastici che si deposero con spessori di quasi 1000 metri nelle zone più depresse tra Bolzano e Ora, dove sono sovrapposti a IGR. La formazione è costituita da *lapilli-tuff* riolitici saldati molto coerenti ed estremamente omogenei, di colore variabile dal grigio-rosato all'arancione rossastro.

In discordanza sulle rocce ignee appena descritte giacciono i terreni quaternari, di origine principalmente alluvionale e glaciale.

- Le **alluvioni** hanno una facies sabbiosa e ghiaiosa, con clasti fino a 15 cm, che salgono a 50 cm nei conoidi del Talvera e dell'Isarco. di diametro. Nei settori più occidentali dell'area di studio ma anche in alcune aree più a Est, sono presenti lenti e/o livelli di depositi di piana inondabile, lago e palude, costituiti da limi più o meno argillosi con locali intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose.
- I **depositi di origine mista (torrentizi e/o da debris flow)** sono presenti alla base dei versanti e lungo gli impluvi. I sedimenti più presenti in questi depositi sono diamicton a supporto di clasti e a volte di matrice non addensati, a matrice limo-sabbiosa e intercalazioni sabbioso-ghiaiose stratificate. Nell'area di studio affiorano a Est del tracciato in progetto, ai piedi dei monti che circondano il quartiere Aslago.
- I **depositi di versante e/o di frana** si presentano sotto forma di accumuli ai piedi delle scarpate rocciose. Si tratta di ghiaie e blocchi con matrice in quantità variabile. I depositi di frana per crollo sono costituiti da blocchi di dimensioni variabili a seconda della fratturazione dell'ammasso roccioso (spaziatura dei piani di discontinuità).
- I **depositi di origine glaciale** interessano alcune spianate morfologiche nella parte più elevata dell'area di indagine. Si tratta di accumuli di materiale grossolano in matrice fine, di limitata estensione e spessore.
- I **depositi antropici** si trovano essenzialmente nei fondovalle. Si tratta in genere di ghiaie miscelate con sabbie o sedimenti fini, spesso derivanti dalla demolizione di edifici o dagli accumuli di materiali scartati dalle lavorazioni di cava. Altri depositi di origine antropica sono le opere idrauliche quali gli argini o i terrapieni per l'edificazione di edifici. Lo spessore è in genere di alcuni metri.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1D	01	D26	RGGE0000001	A	8 di 36

4.2 Geomorfologia

I settori di affioramento dei porfidi quarziferi del gruppo vulcanico atesino (AGV) sono caratterizzati, generalmente, da versanti acclivi e con sommità poco inclinata fino a formare a volte un tavolato.

Le scarpate verticali che delimitano gli ammassi vulcanici sono intagliate da numerose valli trasversali, a volte strette e profondamente incise, indicanti le principali strutture tettoniche presenti.

La conoide del Torrente Talvera ha spinto il corso dell'Isarco verso il colle del Virgolo, che appare quindi delimitato nella sua parte settentrionale, dal corso d'acqua.

Il reticolo idrografico minore risulta poco sviluppato a causa dell'urbanizzazione che negli ultimi decenni ha totalmente modificato l'assetto della piana alluvionale dell'Oltreisarco. Tra questi il Rio Aslago, proveniente dai rilievi porfirici a Sud-Est del tracciato in progetto è stato nel tempo deviato allo sbocco nella piana alluvionale. Anche i fossi agricoli preesistenti sono infatti stati canalizzati e tombati.

Nell'area di studio i versanti del colle del Virgolo sono interessati da una diffusa instabilità, legata alla fratturazione degli ammassi rocciosi secondo piani subverticali. La combinazione di più sistemi subverticali porta inoltre alla tipica morfologia colonnare degli ammassi porfirici. Questo tipo di fratturazione favorisce principalmente fenomeni di crollo e ribaltamento. Sono meno frequenti i fenomeni di scivolamento planare. Buona parte dei versanti rocciosi sono attualmente protetti con reti e chiodature, sono a volte presenti barriere paramassi.

Le altre tipologie di dissesto riguardano le coperture. In questo caso sono possibili colate e i movimenti di tipo complesso, legate alle normali dinamiche di versante in seguito agli eventi piovosi o ai cicli stagionali.

4.3 Elementi di idrogeologia

Sono presenti due complessi idrogeologici principali, le alluvioni e le rocce porfiriche.

Il complesso di substrato, impermeabile come materiale roccia, costituisce acquiferi fessurati piuttosto discontinui, connessi alla locale presenza di fratture beanti o di fasce cataclamate; è sede di falde idriche sotterranee di scarsa rilevanza, generalmente contenute nelle porzioni più alterate e fratturate dell'ammasso.

Buona parte delle acque circolanti nel colle del Virgolo viene drenata dalle numerose gallerie che lo attraversano a quote diverse rispetto al tunnel in progetto. Il rilievo geologico eseguito nel cunicolo esplorativo, posto a quota inferiore e più "esterno" rispetto agli altri, oltre ad essere privo di rivestimento, ha mostrato la presenza di numerosissime venute d'acqua lungo il cavo, ma di modesta portata complessiva. Non si registrano opere di captazione o sorgenti nei pressi dell'area di indagine.

Il complesso idrogeologico ghiaioso è rappresentato dal materasso alluvionale del fondovalle e delle conoidi dei principali corsi d'acqua.

La falda freatica ha come base il substrato litoide. Presenta oscillazioni annuali fino ad oltre 10 metri nelle porzioni più prossime all'apice delle conoidi, mentre nelle quote inferiori, dove le conoidi sfumano nel fondovalle atesino, l'escursione annuale è di circa 3 metri.

Le misure effettuate recentemente mostrano che la falda freatica nelle alluvioni ha una profondità minima di circa 10 metri dal piano campagna.

4.4 Descrizione del tracciato

Il tracciato delle opere allo scoperto si sviluppa sulle alluvioni della conca di Bolzano.

Il primo tratto all'aperto, da progressiva 0+000 a progressiva 0+830 circa (linea Meranese), si sviluppa nella piana alluvionale dell'Isarco poco più a valle della confluenza con il Torrente Talvera. Non si hanno elementi geomorfologici interferenti con il tracciato, che ricalca in buona parte la linea ferroviaria preesistente.

Il secondo tratto all'aperto si sviluppa da progressiva 1+317 a progressiva 1+871. (linea Meranese). Il tracciato, dopo l'imbocco lato stazione della galleria, si ricollega alla linea ferroviaria esistente in corrispondenza della stazione di Bolzano.

I terrazzi alluvionali su cui è impostata la linea ferroviaria sono costituiti essenzialmente da ghiaie e sabbie. Il tratto in esame appare a luoghi rimaneggiato, con depositi antropici estesi. Questi accumuli sono costituiti da detriti provenienti da sbancamenti e scavi nel materiale alluvionale e porfirico, quindi comunque di buona qualità.

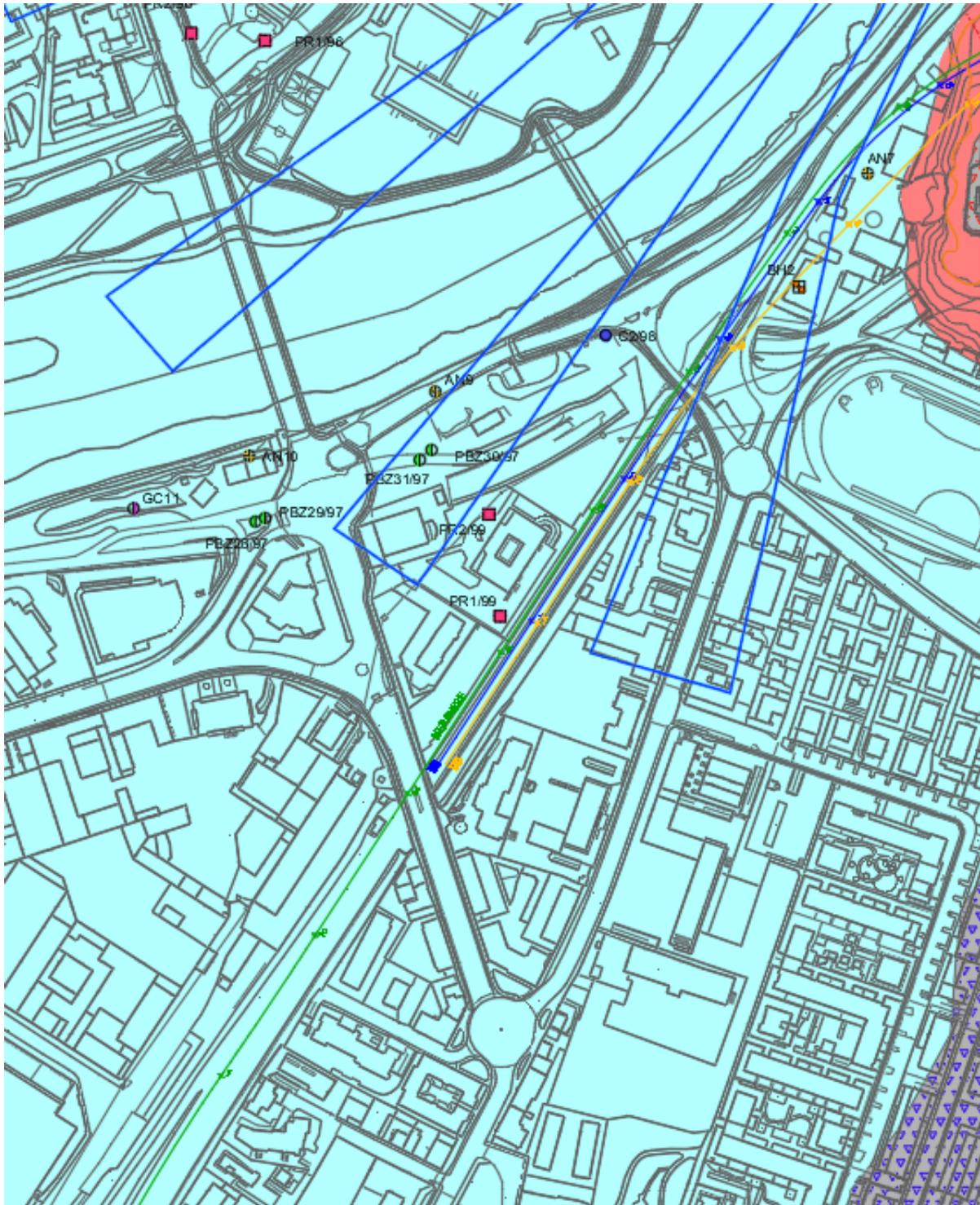


Figura 2: Stralcio della carta geologica di progetto con tracciato e indagini – primo tratto all'aperto.

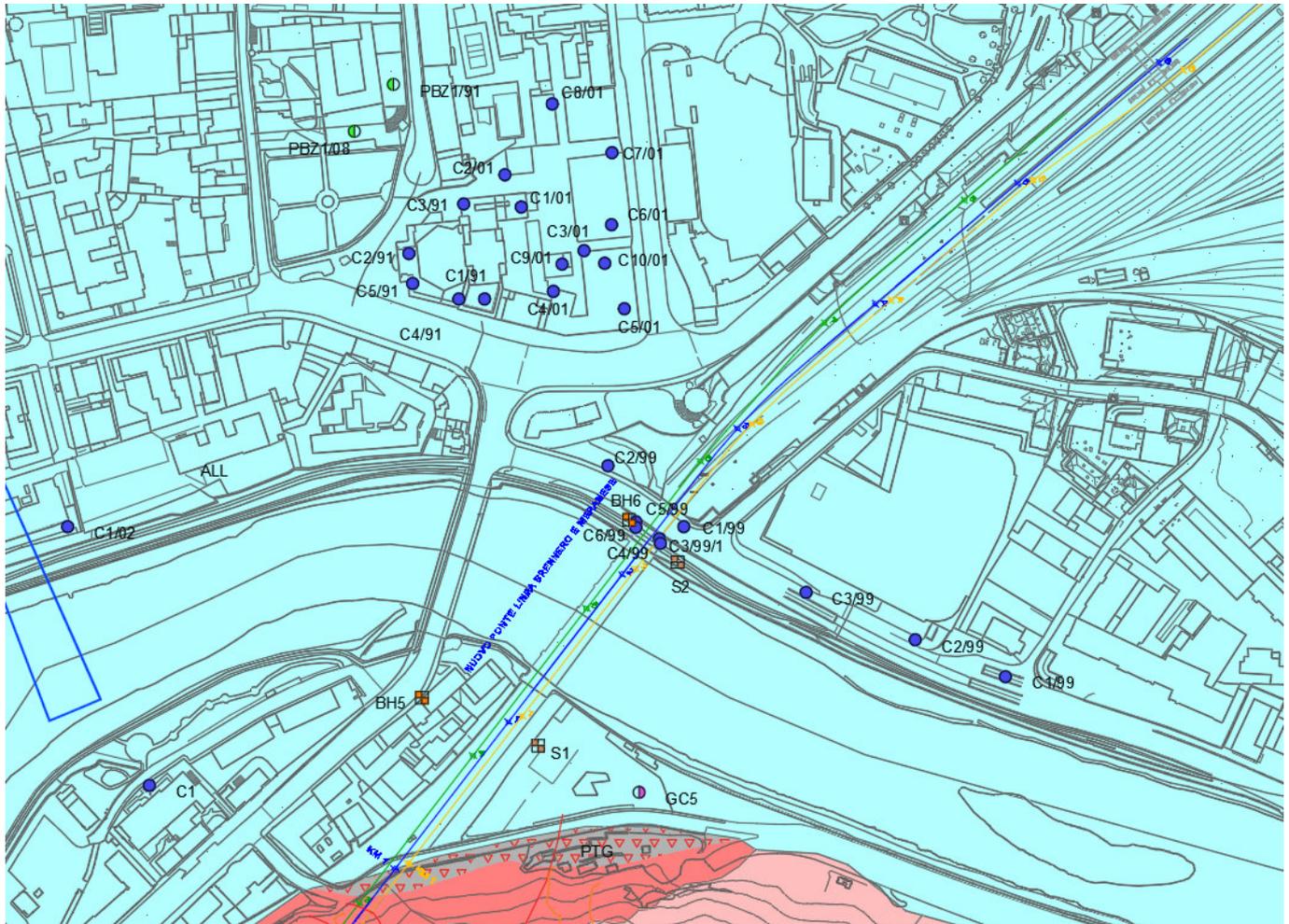


Figura 3: stralcio della carta geologica di progetto con tracciato e indagini – secondo tratto all'aperto.

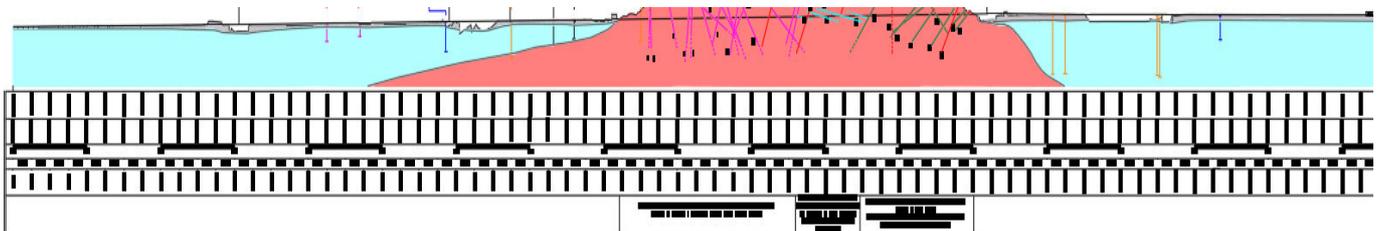


Figura 4: Profilo geologico di progetto.

5 INDAGINI E RILIEVI

5.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Lo studio geologico ha previsto un rilevamento di terreno caratterizzato dall'esecuzione di 52 stop geologici, 8 stazioni geomeccaniche di superficie e valutazioni geomeccaniche nel cunicolo esplorativo.

Tra la fine del 2018 e l'inizio 2019 furono effettuati n.4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con profondità comprese tra 30 e 70 metri da p.c., con esecuzione di prove geotecniche in foro (SPT, prove pressiometriche, dilatometriche e di permeabilità) e prelievo di campioni.

Nell'ambito del presente lavoro, allo scopo di acquisire ulteriori informazioni sulle caratteristiche geologico-stratigrafiche dell'area di studio e per la caratterizzazione geo-meccanica dei terreni in sito, è stata realizzata una ulteriore campagna di indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche con esecuzione di:

- n. 6 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, a profondità variabili da 30 a 60 m dal p.c., con esecuzione di prove geotecniche in foro, ed installazione di piezometro a tubo aperto ;
- n. 59 prove penetrometriche dinamiche SPT;
- n. 7 prove pressiometriche;
- n. 1 prova dilatometrica;
- n. 1 prova di permeabilità tipo Lugeon;
- n. 14 prove di permeabilità tipo Lefranc;
- n. 82 campioni rimaneggiati e n. 1 campione indisturbato per analisi geotecniche di laboratorio;
- n. 8 stendimenti sismici MASW/Re.Mi. per la determinazione del parametro V_{seq} ;
- n. 3 stendimenti sismici a rifrazione in onda P ed S.

Inoltre sono stati acquisiti i dati di ulteriori indagini derivanti da precedenti campagne eseguite da Italferr o provenienti dall'archivio sondaggi della Provincia di Bolzano.

Nella seguente Tabella 1 si riportano i sondaggi di cui si è fatto uso ai fini della caratterizzazione dei terreni e della ricostruzione dei profili geotecnici riportati nello specifico elaborato.

Tabella 1: Elenco dei sondaggi utilizzati

Virgolo – SUD

Sondaggio	Campagna	Ente	Lunghezza (m)	Prove in foro					Strumentazione installata
				SPT	Pressiometrica	Dilatometrica	Lugeon	Lefranc	
VG2	2020	Italferr	40	X	X			X	Piezometro
VG3	2020	Italferr	40	X				X	Piezometro
VG4	2020	Italferr	35	X	X			X	Piezometro
VG5	2020	Italferr	30	X	X			X	Piezometro
BH2	2018-19	Italferr	30	X	X			X	Piezometro
AN7	1989	ANAS	16.2						-
PR1/99	1999	Privato	14.5	X				X	Piezometro
PR2/99	1999	Privato	10	X				X	-

Virgolo – NORD

Sondaggio	Campagna	Ente	Lunghezza (m)	Prove in foro					Strumentazione installata
				SPT	Pressiometrica	Dilatometrica	Lugeon	Lefranc	
VG1	2020	italferr	60	X		X	X	X	Piezometro
BH5	2018-19	Italferr	50	X	X			X	Tubo per DH
S1	2017	Italferr	50	X				X	Piezometro



Figura 5: Ubicazione sondaggi geognostici

5.2 ASSETTO STRATIGRAFICO

La struttura litostratigrafica del sottosuolo sulle aree di progetto definita sulla base delle risultanze dei carotaggi effettuati rispecchia essenzialmente le caratteristiche illustrate nell'inquadramento geologico dell'area.

I terreni presenti a nord e a sud del colle del Virgolo formano un deposito alluvionale costituito da ghiaie e sabbie ghiaiose, ad assortimento granulometrico variabile, con inclusi ciottoli e blocchi di natura poligenica. A luoghi i sedimenti alluvionali sono ricoperti da materiali di riporto formati da ghiaie e ciottoli con sabbia.

Il deposito alluvionale presenta una potenza non inferiore a 40 m, profondità alla quale sul versante nord è stato rinvenuto nel sondaggio VG1 il basamento vulcanico rappresentato dai materiali lapidei appartenenti alla Formazione di Gries. Nei sondaggi perforati sul versante meridionale del colle, fino alla profondità di 40 m dal p.c., le rocce del basamento non sono state rinvenute.

Per una disamina approfondita delle schede stratigrafiche e della documentazione fotografica dei materiali perforati si rimanda allo specifico elaborato allegato.

5.3 PERMEABILITA' E DATI PIEZOMETRICI

Le caratteristiche di permeabilità dei terreni alluvionali sono state determinate in sito nel corso della perforazione dei sondaggi mediante prove *Lefranc* a carico costante e/o variabile.

La tabella seguente illustra i risultati ottenuti, da cui si evince un valore medio di $K=2,16 \times 10^{-4}$ m/s.

Tabella 2: Coefficienti di permeabilità da prove *Lefranc*

Sondaggio	Profondità (m)	Permeabilità (m/s)
VG0	5,00	$9,54 \times 10^{-5}$
VG0	13,00	$2,37 \times 10^{-5}$
VG0	26,00	$2,78 \times 10^{-5}$
VG1	7,00	$2,08 \times 10^{-4}$
VG1	21,00	$3,52 \times 10^{-4}$
VG1	31,50	$3,35 \times 10^{-4}$
VG2	5,50	$2,51 \times 10^{-4}$
VG2	17,50	$1,36 \times 10^{-4}$
Vg3	6,55	$9,01 \times 10^{-5}$
Vg3	20,00	$2,04 \times 10^{-5}$
Vg4	7,00	$4,39 \times 10^{-4}$
Vg4	18,00	$2,78 \times 10^{-5}$
Vg5	5,20	$6,95 \times 10^{-5}$
Vg5	14,50	$9,45 \times 10^{-4}$

La conducibilità idraulica dell'ammasso lapideo nel basamento vulcanico è stata determinata mediante l'esecuzione di una prova *Lugeon*, eseguita nel sondaggio VG1 a fondo foro, fra 55 e 60 m dal p.c. . I risultati della prova

evidenziano un **valore rappresentativo pari a 0,39 unità *Lugeon***, cui corrisponde un coefficiente di permeabilità $K=4,84 \times 10^{-8}$ m/s.

I **dati piezometrici** relativi all'acquifero alluvionale superficiale, rilevati nei sondaggi disponibili, confrontati anche con i dati registrati dalla rete freaticmetrica della città di Bolzano, evidenziano un'escursione dei livelli di falda variabile fra un massimo di circa 11 m dal p.c. e un minimo di circa 19 m dal p.c.

Tabella 3: Letture freaticmetriche (m dal p.c.)

Piezometri campagne Italferr 2018 e 2020							
<i>Sondaggio</i> <i>Periodo</i>	<i>BH2</i>	<i>BH6</i>	<i>VG0</i>	<i>VG1</i>	<i>VG2</i>	<i>VG4</i>	<i>VG5</i>
mag-19	16.25	13.93	-	-	-	-	-
giu-19	15	6.5	-	-	-	-	-
lug-19	16.25	12.5	-	-	-	-	-
ago-19	17.35	13.3	-	-	-	-	-
set-19	18.3	17.3	-	-	-	-	-
ott-19	18.8	18.27	-	-	-	-	-
nov-19	17.4	16.05	-	-	-	-	-
dic-19	17.8	16.75	-	-	-	-	-
feb-20	18.65	17.5	-	-	-	-	-
feb-20	18.97	18.23	-	-	-	-	-
mag-20	17.95	16.5	-	-	-	-	-
giu-20	15.83	12.64	-	-	-	-	-
lug-20	15.73	12.71	-	-	-	-	-
ago-20	16.88	14.84	-	-	-	-	-
set-20	14.98	12.32	-	-	-	-	-
ott-20	14.29	10.97	14.72	13.94	15.68	-	10.98
nov-20	14.15	10.96	15.14	13.52	15.33	13.71	10.74
dic-20	15.29	12.32	-	15.01	16.42	14.28	11.47

5.4 ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante la perforazione dei sondaggi sono stati prelevati n. 80 campioni rimaneggiati dall'unità dei depositi alluvionali, più n. 1 campione indisturbato e n.2 rimaneggiati di roccia dal substrato, da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio.

Su tutti i campioni dei terreni alluvionali sono state determinate le caratteristiche granulometriche e, ove possibile, le caratteristiche di plasticità (*Limiti di Atterberg*) della frazione fine limoso-argillosa e i parametri di resistenza al taglio su provini ricostituiti in laboratorio.

La quasi totalità dei campioni analizzati presenta una frazione granulometrica ghiaioso-sabbiosa mediamente pari al 87% (min. 58% - max. 98%), inferiore al 80% su 10 campioni e inferiore al 70% soltanto in 3 campioni su 80 analizzati. Tale distribuzione granulometrica attesta la sostanziale omogeneità della composizione ghiaioso-sabbiosa dei depositi alluvionali presenti in sito.

La determinazione dei *Limiti di Atterberg*, effettuata sulla frazione limoso-argillosa di n. 38 campioni di alluvioni, ha evidenziato valori del limite di liquidità W_L sempre inferiori al 30% ed indice di plasticità IP non superiore a 11%, per cui i campioni analizzati si collocano nell'abaco di plasticità di *Casagrande* nel campo dei limi di bassa compressibilità e delle argille di bassa plasticità (Fig. 6).

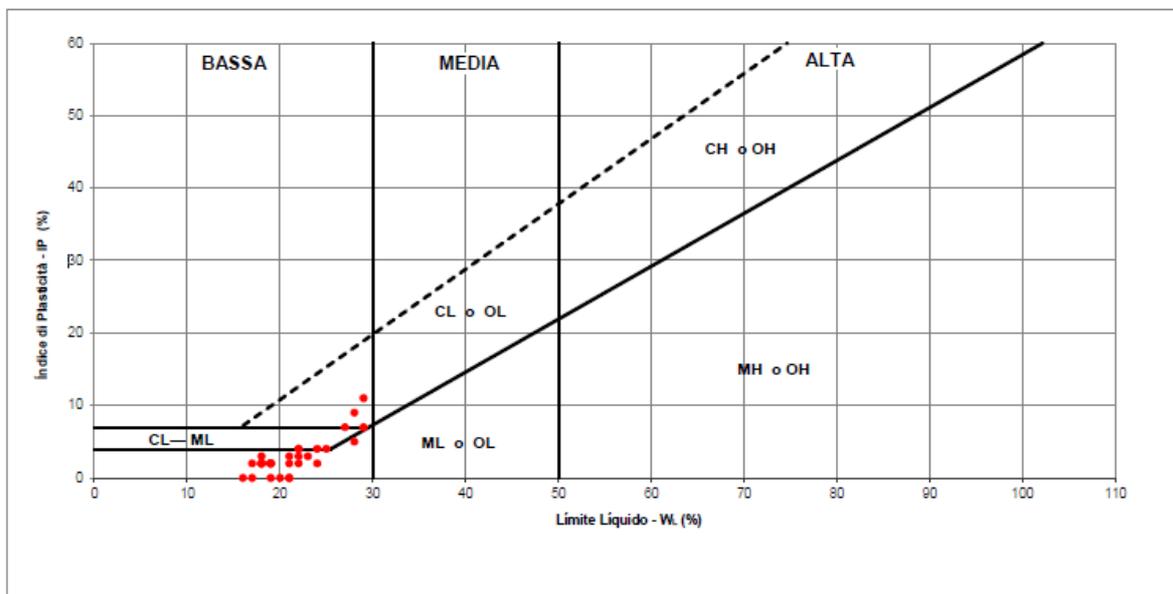


Figura 6: Carta di plasticità di Casagrande

I parametri di resistenza meccanica sono stati sperimentati mediante prove di taglio diretto eseguite su n.4 campioni ricostituiti in laboratorio sul passante al setaccio da 2,00 mm.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 4: Resistenza al taglio di campioni di alluvioni

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Coesione	Angolo di attrito ϕ
VG1	CR4	18,70	1,2 kPa	38,1°
VG2	CR3	5,00	1,5 kPa	30,1°
VG3	CR3	7,00	1,1 kPa	40,1°
VG5	CR10	19,00	6,1 kPa	37,6°

Sui campioni di roccia prelevati dal basamento vulcanico sono stati determinati i parametri di resistenza a compressione uniassiale e di elasticità statica e dinamica.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 5: Parametri geotecnici di campioni di roccia

Sond.	Camp.	Prof. (m)	Resistenza a compressione monoassiale	Modulo di Elasticità	Peso di volume app.	Resistenza a trazione ind.
VG1	CI1	47,40	120,93 N/mm ²	24,17 kN/mm ²	2,564 Mg/m ³	7,91 kPa
VG1	CR12	50,60	94,88 N/mm ²	16,15 kN/mm ²	===	===
VG1	CR13	55,00	100,69 N/mm ²	17,64 kN/mm ²	===	===

5.5 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT

Durante l'avanzamento delle perforazioni sono state condotte sistematicamente prove SPT. Tali prove sono state realizzate secondo gli standard in vigore, misurando i colpi necessari per l'infissione del penetrometro per 3 tratti di 15cm l'uno, scartando il primo valore (N1), ed ottenendo il valore NSPT come somma dei valori corrispondenti ai restanti due tratti (N2+N3).

In base al valore NSPT è possibile determinare lo stato reale di addensamento per i terreni incoerenti, come evidenziato nella tabella seguente:

Terreno incoerente Grado di addensamento	Numero dei colpi NSPT	Densità relativa Dr	Angolo di attrito ϕ [°]
Sciolto	< 4	< 0.2	< 30°
Poco addensato	4 - 10	0.2 - 0.4	30° - 35°
Moderatamente addensato	10 - 30	0.4 - 0.6	35° - 40°
Addensato	30 - 50	0.6 - 0.8	40° - 45°
Molto addensato	> 50	> 0.8	> 45°

Si è fatto riferimento alle correlazioni esistenti in letteratura tra i risultati delle prove SPT ed i parametri caratteristici che concorrono a definire la resistenza al taglio dei terreni e le loro caratteristiche di deformabilità (esclusivamente su base empirica).

Per i depositi in esame, a prevalente comportamento attritivo, si è fatto ricorso alla parametrizzazione in termini drenati, con determinazione della densità relativa, angolo di attrito (picco) e modulo elastico.

Al fine di migliorare il grado di attendibilità dell'elaborazione, si è fatto ricorso a diversi approcci analitici, successivamente confrontati tra loro.

I metodi empirici utilizzati per la stima del modulo elastico sono i seguenti:

- Terzaghi: $E = B \cdot \sqrt{N_{spt}} \text{ [MPa]}$ utilizzabile per sabbia più ghiaia e sabbia pulita. $B = 7\text{MPa}$. Inattendibile per valori di N_{spt} molto bassi o molto alti.
- D'Appollonia et Alii $E = 7.71N_{spt} + 191 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$ utilizzabile per ghiaia più sabbia.

I metodi empirici utilizzati per la stima dell'angolo di attrito sono i seguenti:

- Owasaki e Iwasaki: $\phi = 15 + \sqrt{20 \cdot N_{spt}}$ utilizzabile per sabbie da medie a grossolane e/o debolmente ghiaiose;
- Japanese National Railway: $\phi = 27 + 0.3 \cdot N_{spt}$ utilizzabile per litologie sabbiose medio-grossolane fino a ghiaiose;

Per il calcolo del modulo elastico e dell'angolo di attrito nelle prove SPT a rifiuto si assume come riferimento il valore massimo standard della prova pari a 100.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dalle elaborazioni.

Virgolo - NORD

ID.Sond	Prof. (m)	N1	N2	N3	Nspt	Modulo di Young (Mpa)		Angolo di resistenza	
						Terzaghi	D'Appollonia	Owasaki & Iwasaki	Jap. Nat. Railway
VG1	3	38	100		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	5	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	8	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	11	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	15	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	18	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	21	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	24	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG1	30	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
BH5	6	29	23	27	50,00	49,50	57,65	46,62	42,00
BH5	9	14	16	17	33,00	40,21	44,54	40,69	36,90
BH5	12	22	24	27	51,00	49,99	58,42	46,94	42,30
BH5	15	50	R		100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
BH5	20	38	73	27	100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
BH5	21	32	48	37	85,00	64,54	84,64	56,23	52,50
BH5	24	41	38	45	83,00	63,77	83,09	55,74	51,90
BH5	27	50	R		100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
BH5	28,5	47	100	R	100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
BH5	30	29	38	33	71,00	58,98	73,84	52,68	48,30
BH5	39	21	18	32	50,00	49,50	57,65	46,62	42,00
BH5	43,5	50	R		100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
S1/17	6,00	6	9	8	17,00	28,86	32,21	33,44	32,10
S1/17	13,00	R			100,00	70,00	96,20	59,72	57,00
S1/17	20,00	R			100,00	70,00	96,20	59,72	57,00

Tabella 6: Calcolo del modulo elastico e dell'angolo di resistenza al taglio da Nspt per il versante Virgolo-NORD.

Virgolo - SUD

ID.Sond	Prof. (m)	N1	N2	N3	Nspt	Modulo di Young (Mpa)		Angolo di resistenza	
						Terzaghi	D'Appollonia	Owasaki & Iwasaki	Jap. Nat. Railway
VG2	3	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	6	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	9	29	100	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	12	10	100	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	16	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	18	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	22	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	25	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	28	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	31	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG2	34	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	3	18	100	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	7	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	10	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	13	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	17	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	19	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	22	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	25	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	28	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG3	31	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	3	17	39	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	7	28	35	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	9	19	47	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	13	29	47	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	19	35	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	23	38	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	25	40	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG4	29	17	32	50	82,00	63,39	80,73	55,50	51,60
VG4	33	48	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	3	29	45	53	98,00	69,30	92,83	59,27	56,40

Virgolo - SUD

ID.Sond	Prof. (m)	N1	N2	N3	Nspt	Modulo di Young (Mpa)		Angolo di resistenza	
						Terzaghi	D'Appollonia	Owasaki & Iwasaki	Jap. Nat. Railway
VG5	6	35	42	47	89,00	66,04	86,02	57,19	53,70
VG5	9	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	12	19	30	38	68,00	57,72	70,15	51,88	47,40
VG5	16	42	100	R	100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	19	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	22	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	26	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
VG5	28	50	R		100,00	70,00	94,34	59,72	57,00
BH2	3	39	100	R	100	70,00	96,20	59,72	57,00
BH2	6	22	100	R	100	70,00	96,20	59,72	57,00
BH2	9	20	27	35	62	55,12	66,90	50,21	45,60
BH2	12	47	100	R	100	70,00	96,20	59,72	57,00
BH2	15,5	19	28	35	63	55,56	67,67	50,5	45,90
BH2	18	16	27	24	51	49,99	58,42	46,94	42,30
BH2	19,5	29	45	R	100	70,00	96,20	59,72	57,00
BH2	22,5	18	21	15	36	42,00	46,86	41,83	37,80
PR1/99	4,5	21	32	41	73	59,81	75,38	53,21	48,90
PR1/99	6,5	50	R		100	70,00	96,20	59,72	57,00
PR1/99	9,5	30	50	R	100	70,00	96,20	59,72	57,00
PR2/99	3	50	R		100	70,00	96,20	59,72	57,00

Tabella 7: Calcolo del modulo elastico e dell'angolo di resistenza al taglio da Nspt per il versante Virgolo-SUD.

Sulla base di quanto ottenuto nelle elaborazioni si definiscono gli intervalli di variazione del modulo elastico e dell'angolo di attrito.

Virgolo - NORD	Minimo (Nspt = 17)*	Massimo (Nspt = 100)
Modulo di elasticità di Young (Mpa)	28,86 Mpa	94,34 MPa
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	32,10 °	59,72 °

Virgolo - SUD	Minimo (Nspt = 36)*	Massimo (Nspt = 100)
Modulo di elasticità di Young (Mpa)	42,00 MPa	94,34 MPa
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	37,80 °	59,72 °

(*) Si evidenzia che i risultati minimi riportati nelle precedenti tabelle rivengono da valori sperimentati nelle precedenti campagne di indagine, mentre nella attuale campagna di indagini del 2020 i valori sperimentati sono largamente attestati su valori anche superiori a Nspt=100 (qui ridotti al valore standard Nspt=100).

5.6 PROVE PRESSIOMETRICHE E DILATOMETRICA

Le prove pressiometriche consistono nella misura delle deformazioni radiali indotte in un foro mediante l'espansione di una sonda cilindrica dilatabile, incrementando gradualmente la pressione.

Con questa prova è pertanto possibile determinare il modulo di deformazione e la resistenza del terreno.

Nella tabella seguente si riportano i dettagli delle prove eseguite e la relativa interpretazione, rimandando allo specifico allegato per una disamina approfondita dei risultati.

Tabella 8: Prove pressiometriche

Sond.	Prova	Profondità (m)	Pressione limite P1 [MPa]	Modulo pressiometrico [MPa]	Modulo di Young [MPa]	Resistenza a rottura ϕ'°
VG0	P1	9,70	4,78	35,09	70,19	38÷39
VG0	P2	20,70	5,86	42,51	85,03	>40
VG2	P1	8,70	4,36	113,28	263,44	40
VG2	P2	13,80	5,10	72,13	131,15	40
VG5	P1	5,80	2,06	24,68	45,70	33÷35
VG5	P2	18,00	3,36	35,24	66,50	36÷38

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO					
	LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1D	01	D26	RGGE0000001	A	23 di 36

La prova dilatometrica concettualmente è simile ad una prova pressiométrica. Si esegue sulle pareti di un foro di sondaggio privo di rivestimento, e consiste nel mettere in pressione un tratto di foro di lunghezza 1 metro, misurandone le deformazioni diametrali. La prova viene eseguita con 3 cicli completi di carico e scarico.

La prova di “*creep*” consiste nel mantenere la pressione costante misurando le deformazioni diametrali ad intervalli prefissati, solitamente in corrispondenza del gradino di pressione più elevato.

Nel presente lavoro è stata eseguita n.1 prova dilatometrica nel sondaggio VG1 per la determinazione dei parametri di deformazione dell’ammasso roccioso nel basamento vulcanico.

Tabella 9: Prova dilatometrica

Sond.	Prova	Profondità (m)	Modulo di deformazione Ed [MPa]	Modulo elastico Ee [MPa]
VG1	D1	55,0	4301	6775

PROSPEZIONI GEOFISICHE

Le prospezioni geofisiche eseguite a supporto del presente progetto sono state articolate secondo due differenti metodologie di indagine, strutturate in:

- n. 8 stendimenti sismici con acquisizione di tipo Re.Mi / MASW, denominate con sigla da R1 a R8, finalizzate alla determinazione del parametro $V_{s,eq}$ ed alla definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle N.T.C. 2018;
- n. 3 prospezioni sismiche a rifrazione con registrazione in onde P ed S per l’elaborazione di profili interpretativi in termini di velocità sismiche, denominati da P1 a P3

Indagine sismica MASW / Re.Mi.

La determinazione del tipo di sottosuolo, secondo normativa, può essere basata sulla stima dei valori della velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

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

dove: h_i spessore dello stato i-esimo, $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo, N numero degli 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 depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione.



Figura 7: Ubicazioni prospezioni sismiche MASW / Re.Mi

Nell'ambito del presente lavoro la determinazione del parametro $V_{s,eq}$ è stata effettuata sulla base delle risultanze della specifica campagna di prospezioni sismiche di tipo MASW/Re.Mi all'uopo realizzata. Le suddette indagini sono state eseguite in prossimità dell'asse del tracciato ferroviario di progetto.

Nella precedente figura 6 sono riportate le ubicazioni degli stendimenti sismici MASW/ReMi eseguiti.

La velocità delle onde di taglio, essendo legata alle caratteristiche dello scheletro del materiale, costituisce un parametro di grande rilevanza per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali. Risulta evidente che a velocità elevate corrispondono materiali con buone caratteristiche geomeccaniche, viceversa a bassi valori corrispondono materiali con scadenti caratteristiche geotecniche.

La tabella seguente sintetizza i valori di $V_{s,eq}$ calcolati e la conseguente categoria di suolo sismico. Si rimanda allo specifico elaborato per una disamina approfondita delle risultanze.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
	GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RGGE0000001	REV. A

Tabella 10: Determinazione categoria di sottosuolo

Sigla Prova	$V_{s_{eq}}$ (m/sec)	Profondità di riferimento (m)	Categoria suolo
R1	1019	30	A
R2	392	30	B
R3	395	30	B
R4	398	30	B
R5	381	30	B
R6	418	30	B
R7	393	30	B
R8	334	30	C

I risultati ottenuti evidenziano che le prove eseguite all'interno dei materiali alluvionali ghiaioso-sabbiosi, restituiscono un valore $V_{s_{eq}} = V_{s_{30}}$ variabile fra **381 e 418 m/s**, definendo una **categoria di sottosuolo di tipo B** ovvero *“rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”*.

Profili sismici a rifrazione

Le sezioni sismiche a rifrazione hanno permesso di ricostruire i rapporti stratigrafici fra le differenti unità sismiche elaborate sulla base delle differenti velocità sismiche.

La figura 8 seguente ne illustra le ubicazioni nell'area investigata.

Nelle sezioni elaborate si evidenzia un'unità superficiale caratterizzata da valori di velocità V_p inizialmente inferiori a 2000 m/s riferibili a materiali con grado di addensamento crescente con la profondità associabili ai materiali alluvionali sovrastanti il substrato roccioso sottostante.

Si rimanda allo specifico elaborato per una disamina approfondita delle risultanze.



Figura 8: Ubicazioni prospezioni sismiche a rifrazione (onda P ed S)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
	GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RGGE0000001	REV. A

6 CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI TIPO

I terreni presenti nelle tratte di progetto, individuati sulla base dei dati stratigrafici rivenienti dalle risultanze dei sondaggi geognostici effettuati, sono caratterizzati essenzialmente dalla presenza di un *Deposito Alluvionale* formato da ghiaie, ghiaie con sabbia, e sabbie ghiaiose in proporzioni localmente variabili in riferimento ai livelli stratigrafici presenti alle varie profondità. E' costituito per lo più da ghiaie e ciottoli di natura poligenica (carbonatica, filladica, ignimbratica), eterometriche con elementi da sub-arrotondati ad arrotondati, di dimensioni \emptyset medio di ordine centimetrico e \emptyset max. anche superiore a 10 cm. Occasionalmente si rinvencono trovanti e blocchi di natura porfirica.

La potenza dell'unità è superiore a 40 metri, profondità a cui solo nel sondaggio VG1 è stato intercettato il basamento vulcanico.

In alcuni sondaggi si evidenzia anche la presenza in superficie di un deposito di origine antropica, costituito essenzialmente da materiali della stessa natura ghiaiosa e sabbiosa.



Figura 9: Deposito alluvionale al sondaggio VG2

La quasi totalità dei campioni analizzati presenta una frazione granulometrica ghiaioso-sabbiosa mediamente pari al 87% (min. 58% - max. 98%), inferiore al 80% su 10 campioni e inferiore al 70% soltanto in 3 campioni su 80 analizzati.

La valutazione dei parametri di resistenza e deformabilità viene effettuata sulla base delle risultanze delle prove geotecniche effettuate in sito e in laboratorio.

Per la definizione del peso di volume del materiale, in assenza di prove dirette, si considera un intervallo di valori bibliografico, compreso tra 18 e 19 KN/m³.

Per i materiali sciolti la coesione viene considerata nulla.

6.1 PARAMETRI GEOTECNICI DI INPUT

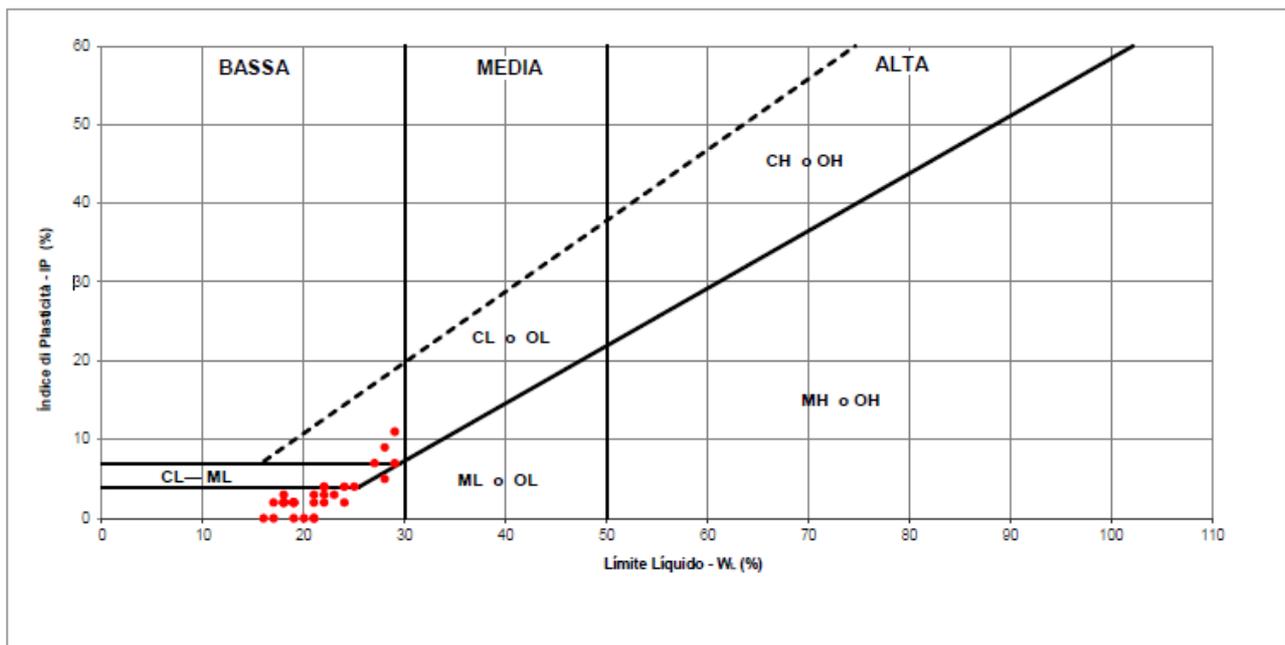
Per i terreni prevalentemente granulari si considera la **coesione nulla** $C = 0$.

Per il **peso di volume naturale**, in assenza di determinazioni sperimentali dirette, si assume il valore $P_v = 19 \text{ KN/m}^3$

Per l'**angolo di resistenza al taglio**, in considerazione dei valori massimi risultanti dalle correlazioni empiriche utilizzate, si consiglia di assumere un valore ridotto non superiore a $\phi = 38^\circ$.

Litotipo	Peso volume naturale	Coesione	Angolo di attrito ϕ°	Modulo E (Mpa)
Terreno di riporto ghiaioso-sabbioso	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$C = 0,0 \text{ kPa}$	30°	30 Mpa
Deposito alluvionale ghiaioso-sabbioso	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$C = 0,0 \text{ kPa}$	38°	62 Mpa

Si riporta la **carta di plasticità di Casagrande** relativa alla matrice fine:



7 CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA

7.1 SISMICITA' DELL'AREA

Il territorio della Provincia Autonoma di Bolzano è classificato in **Zona sismica 4** ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Provinciale n. 4047 del 6.11.2006 della Provincia Autonoma di Bolzano.

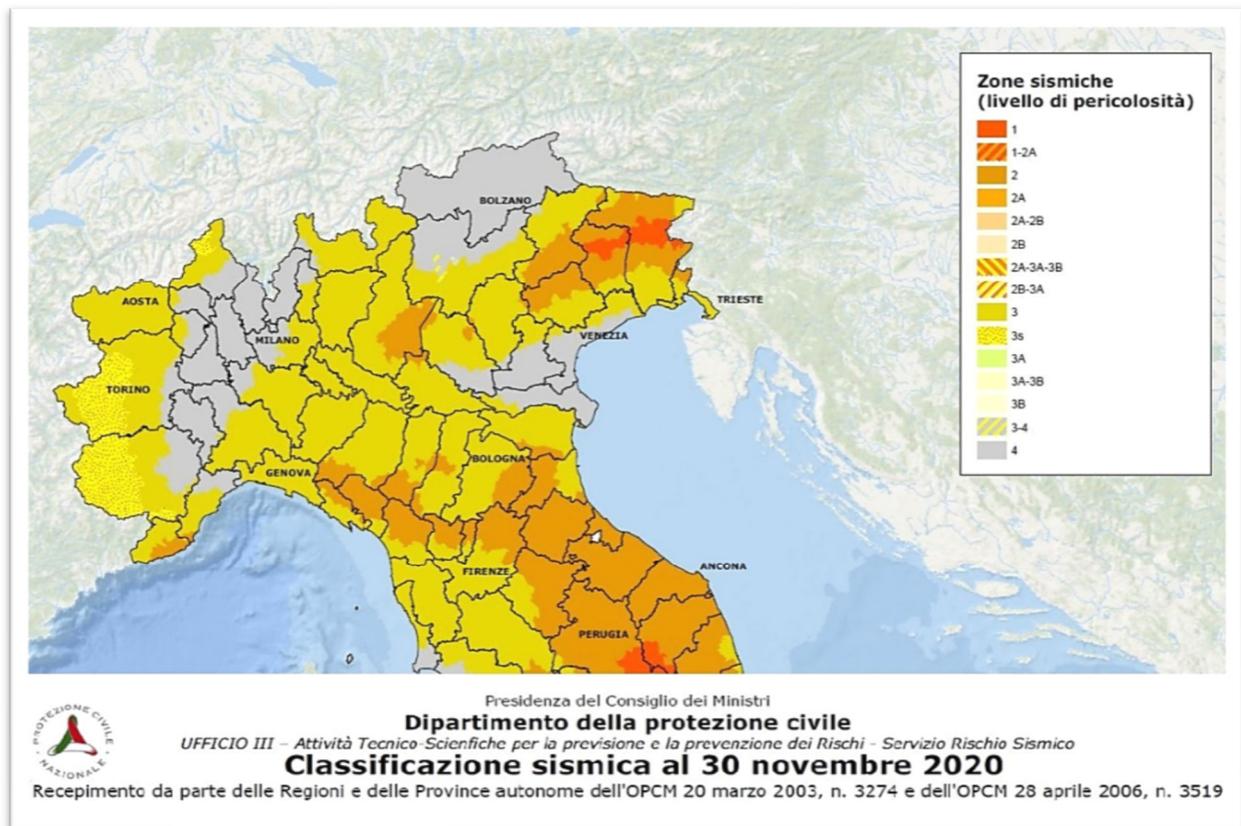


Figura 10: Classificazione sismica del territorio

Il DM 14/01/2008 ed il successivo DM 17/01/2018, introducono molte e significative novità inerenti alla definizione dell'azione sismica.

L'azione sismica viene valutata in condizioni di campo libero (cioè in assenza di manufatti), su sito di riferimento rigido (di categoria A), a superficie orizzontale (superficie topografica di categoria T1), riferendosi alla definizione di "pericolosità sismica di base", fornita dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

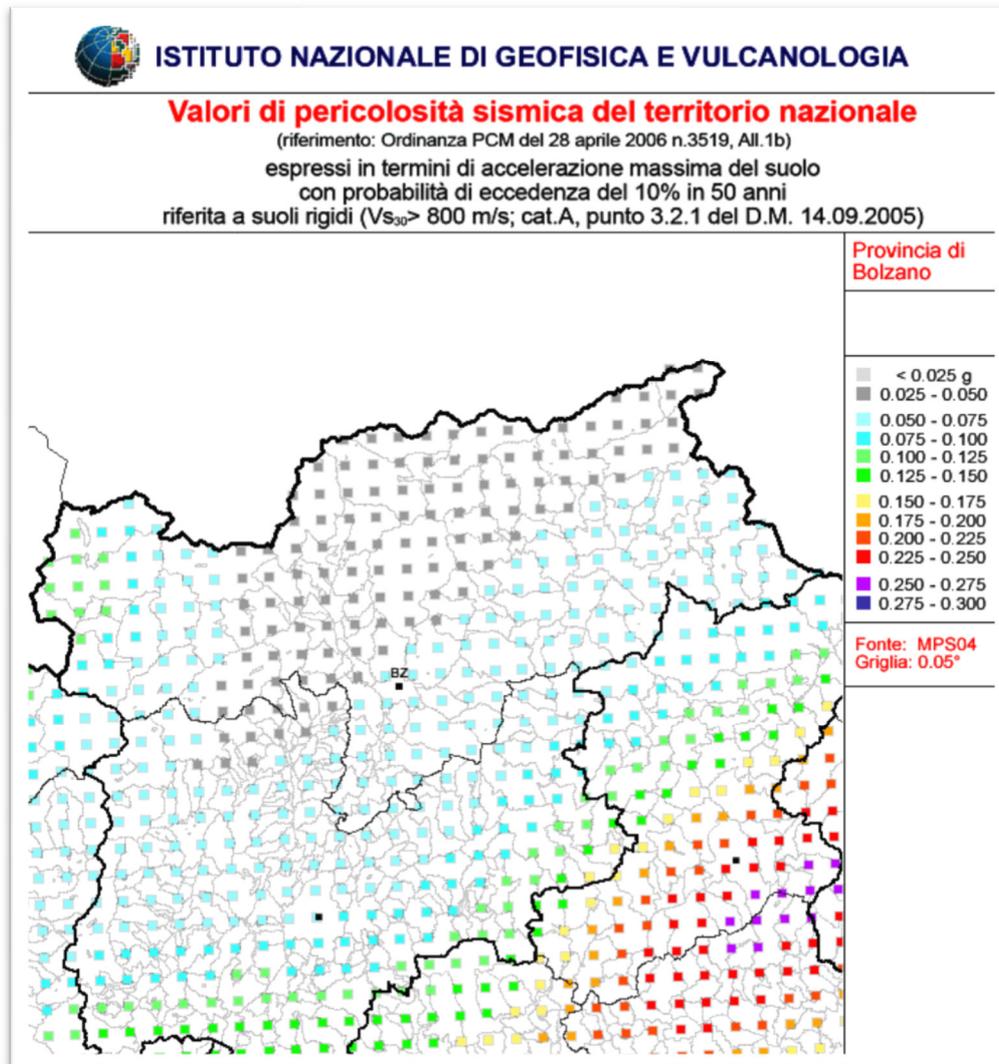


Figura 11: Valori di pericolosità sismica del territorio

L'azione sismica viene valutata sito per sito e costruzione per costruzione. In particolare, i caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica "P_{VR} - probabilità di superamento nel periodo di riferimento" :

a_g: accelerazione massima su suolo tipo A (*allegato B alle NTC*)

F₀: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (*allegato B alle NTC*)

T_C*: periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro (*Allegato B alle NTC*)

In

Tabella 12 vengono forniti, per il Comune di Bolzano e per periodi di ritorno T_R di 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati.

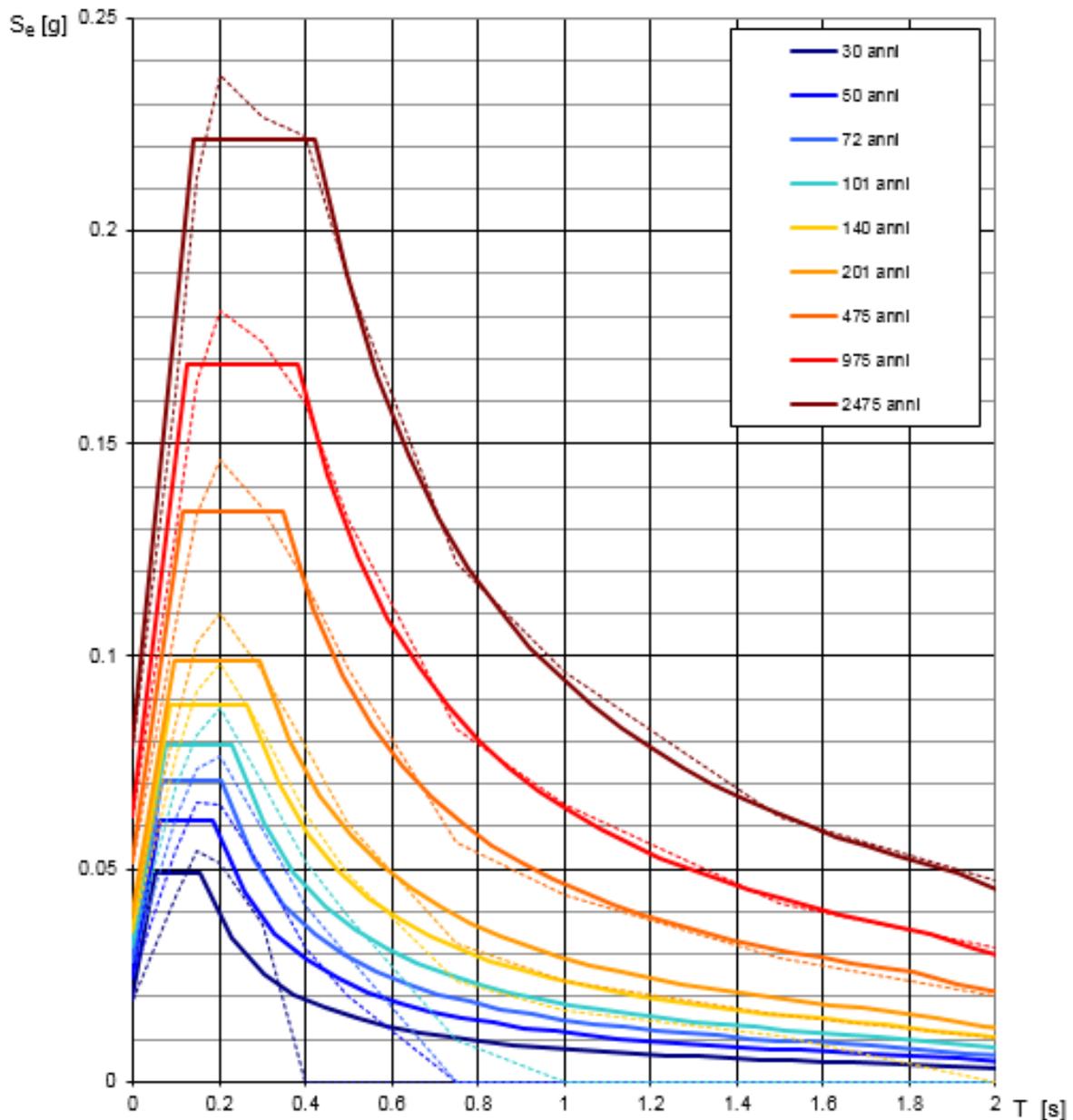
Tabella 11: Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizz. di ancoraggio dello spettro di risposta elastica (Norme Tecniche, a_g/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 12: Valori dei parametri di a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.019	2.555	0.156
50	0.024	2.524	0.187
72	0.028	2.501	0.206
101	0.032	2.489	0.231
140	0.035	2.506	0.266
201	0.039	2.519	0.294
475	0.052	2.599	0.346
975	0.062	2.703	0.382
2475	0.079	2.821	0.424

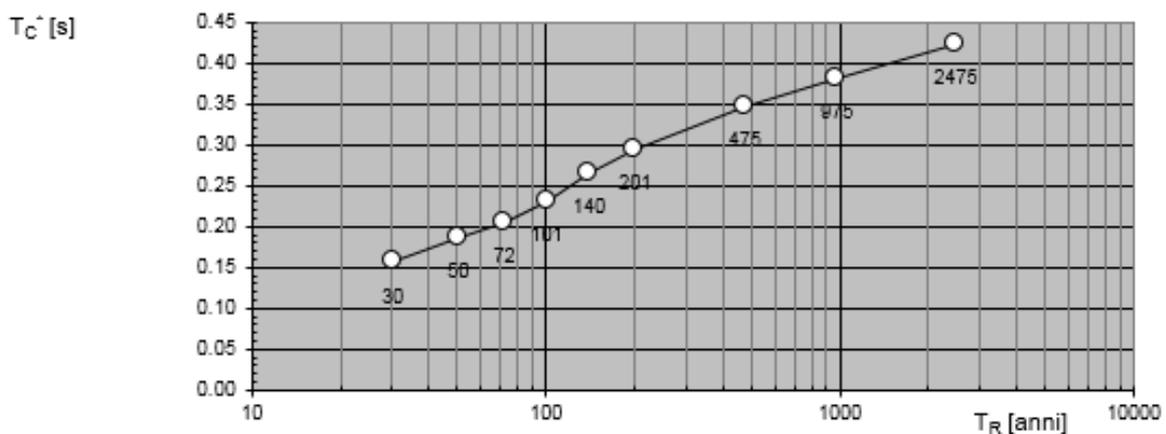
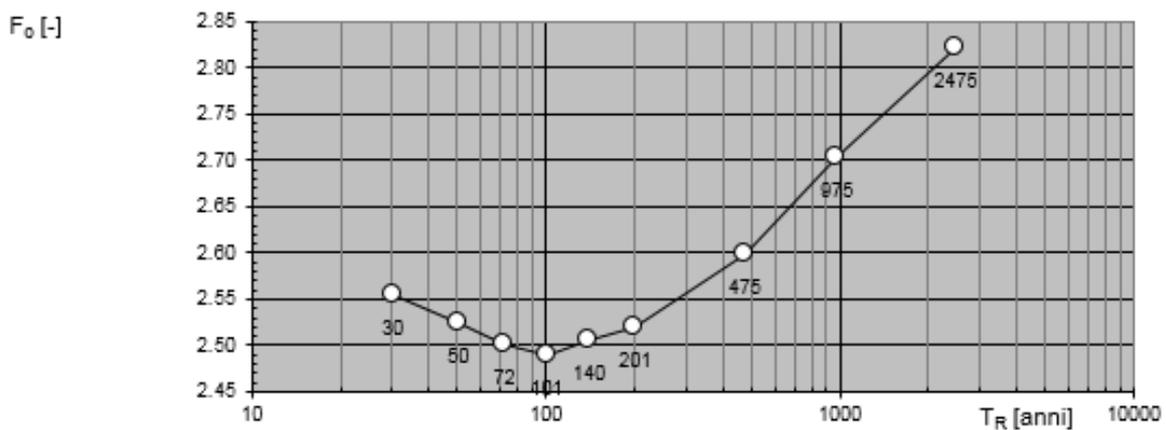
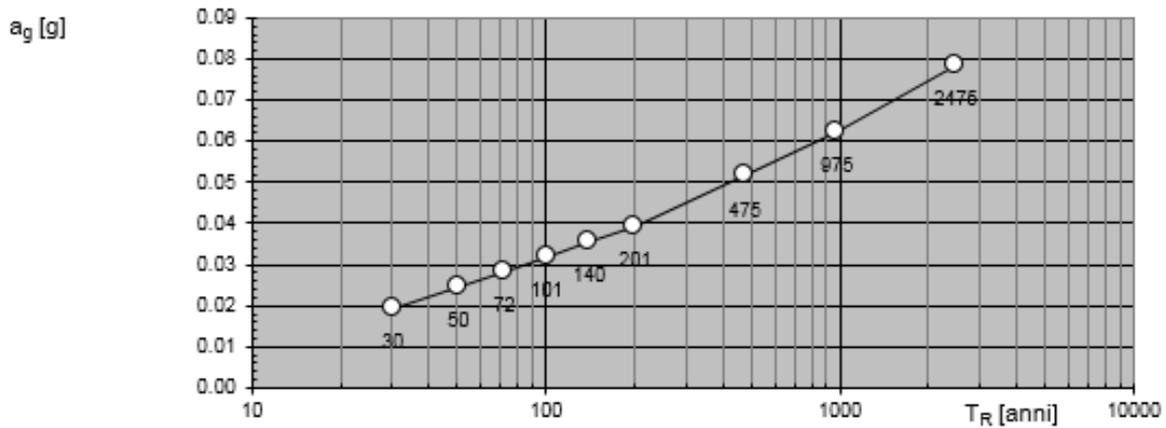
Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R



	PROGETTO DEFINITIVO LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3 BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE					
GEOTECNICA - Relazione geotecnica generale - Opere all'aperto	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RGGE0000001	REV. A	FOGLIO 34 di 36

7.2 PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni), ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

Categoria di sottosuolo

La determinazione del tipo di sottosuolo è stata effettuata sulla base delle risultanze delle prospezioni sismiche all'uopo effettuate, riportate a pag. 25 (Tabella 10)

I risultati ottenuti evidenziano che le prove eseguite all'interno dei materiali alluvionali ghiaioso-sabbiosi, restituiscono un valore $V_{s,eq} = V_{s,30}$ variabile fra 381 e 418 m/s, definendo conseguentemente una categoria di **sottosuolo di tipo B**.

Condizioni topografiche

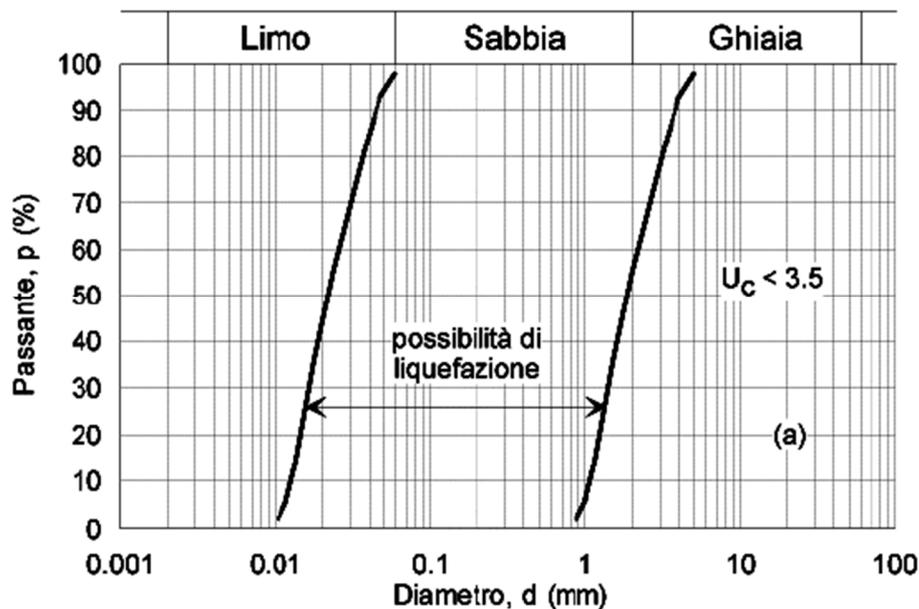
Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, le morfologie, nei tratti all'aperto, possono essere ricondotte ad una delle configurazioni **T1** prevista nel D.M. 14/01/2008 in Tabella 3.2.IV.

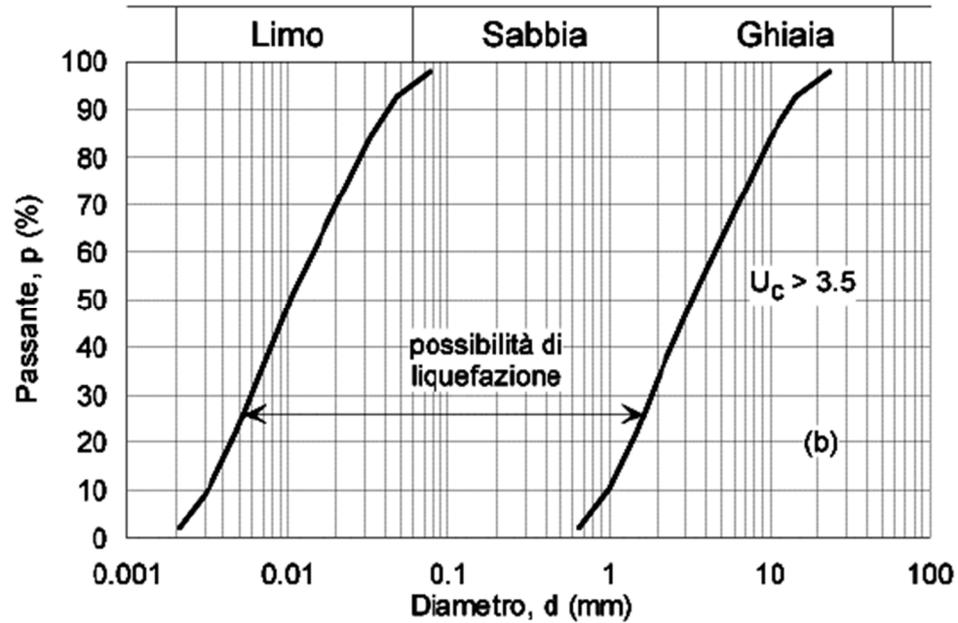
8 RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

In base ad D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa allorché si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero), minori di 0.1g;
- 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 $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.





Considerate le caratteristiche di pericolosità sismica del territorio della Provincia di Bolzano (Zona sismica 4 – accelerazione massima del suolo $a_g = 0.050 \div 0.075$ g) si considera applicabile la condizione di esclusione 1.