

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

### RELAZIONE

Rilevati e trincee ferroviari  
Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

SCALA:

-

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

N B 1 D 0 1 D 2 6 R H 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:

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	7
3.2	GEOMORFOLOGIA.....	8
3.3	ELEMENTI DI IDROGEOLOGIA.....	8
3.4	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO.....	9
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	12
4.1	CARATTERIZZAZIONE DEI TERRENI TIPO.....	12
4.2	PARAMETRI GEOTECNICI DI INPUT.....	13
5	VERIFICA DI STABILITA'.....	14
5.1	RIFERIMENTI TEORICI.....	14
5.2	ANALISI DI STABILITA'.....	18
6	CEDIMENTI.....	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: DEPOSITO ALLUVIONALE AL SONDAGGIO VG2	12
FIGURA 6: DEPOSITO ALLUVIONALE AL SONDAGGIO VG2	15
FIGURA 7: SEZIONE DI CALCOLO [SEZ. PROGR. 0+650.00]	19
FIGURA 8: MODELLO DI CALCOLO [SEZ. PROGR. 0+650.00]	20
FIGURA 9: SEZIONE DI CALCOLO [SEZ. PROGR. 0+000.00]	27
FIGURA 10: SEZIONE DI CALCOLO [SEZ. PROGR. 0+000.00]	28

## 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**

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A	FOGLIO 5 di 36

## 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"



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
	<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 3.1 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, geomorfologica ed idrogeologica".

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.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
	<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A

- 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.

### 3.2 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.

### 3.3 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.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A	FOGLIO 9 di 36

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.

### 3.4 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 i 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.

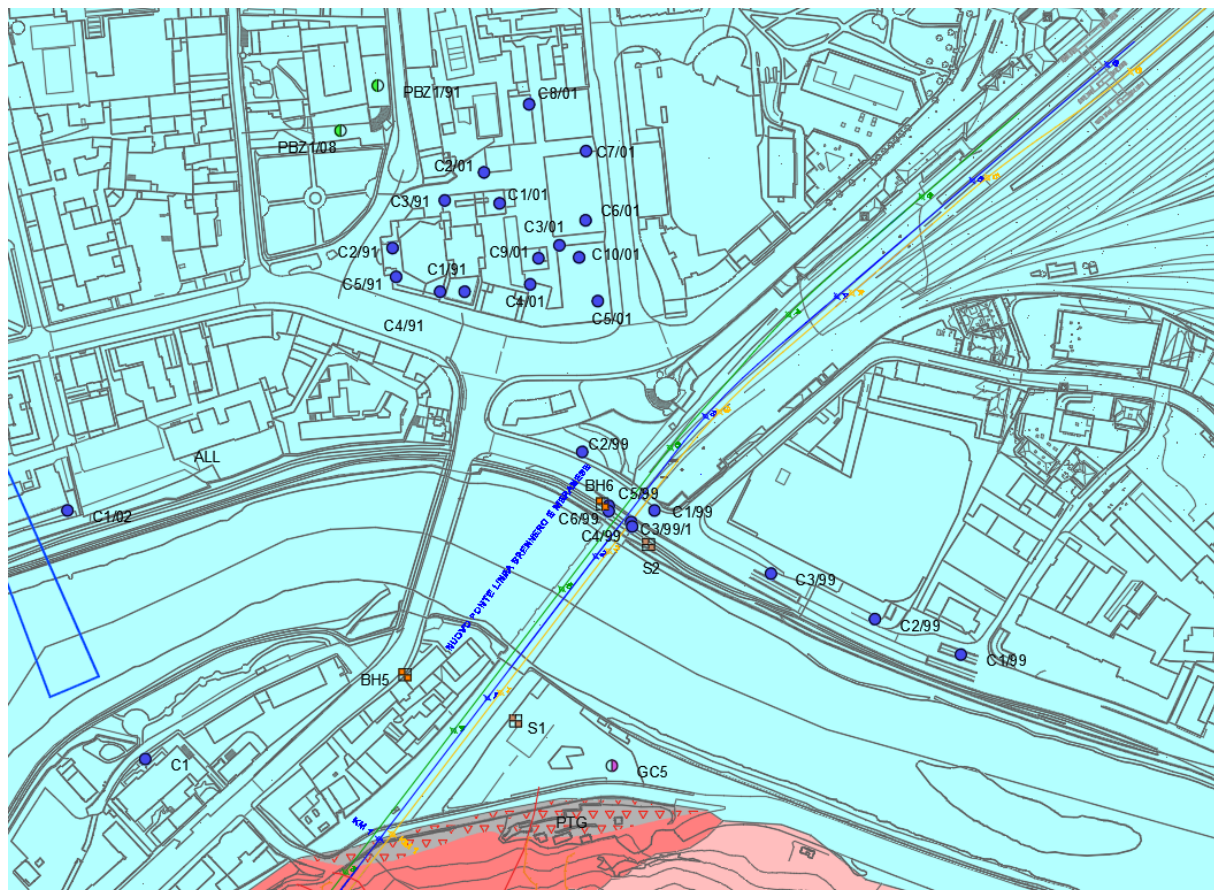
Rilevati e trincee ferroviari

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

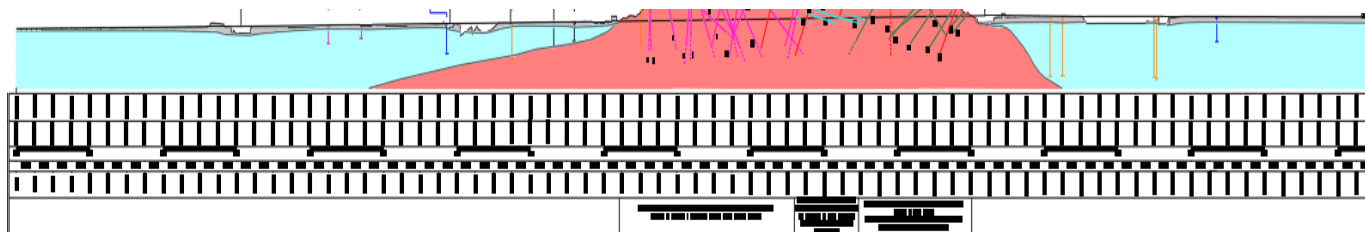
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1D	01	D26	RHGE000001	A	10 di 36



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.**

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 4.1 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, ignimbritica), 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 5: 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/m<sup>3</sup>.

Per i materiali sciolti la coesione viene considerata nulla.

## 4.2 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 assume un valore ridotto non superiore a  $\phi = 38^\circ$ .

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

La falda freatica ha una profondità minima di circa 10 metri dal piano campagna.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
	<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A

## 5 VERIFICA DI STABILITA'

### 5.1 RIFERIMENTI TEORICI

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

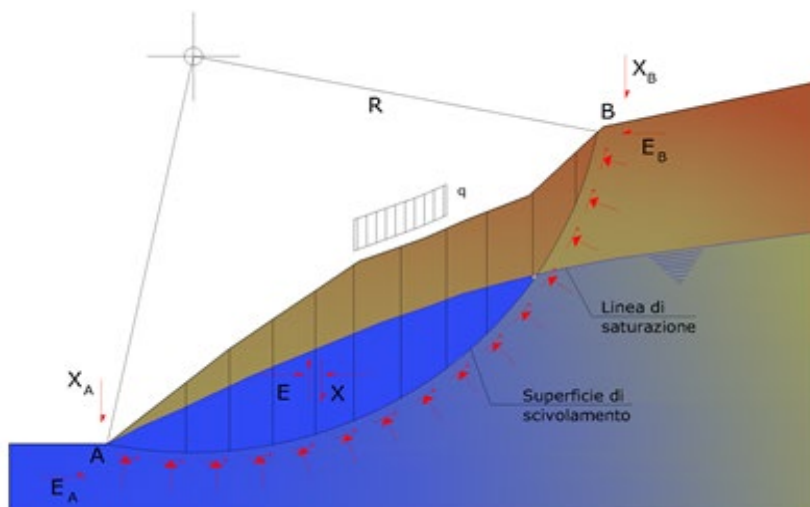
Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

#### Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_j$  agenti sulla base di ciascun concio;

- n valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- (n-1) forze normali  $E_j$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali  $X_j$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle  $E_j$ ;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_j$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.



**Figura 6: Deposito alluvionale al sondaggio VG2**

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni  $4n$ .

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_j$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

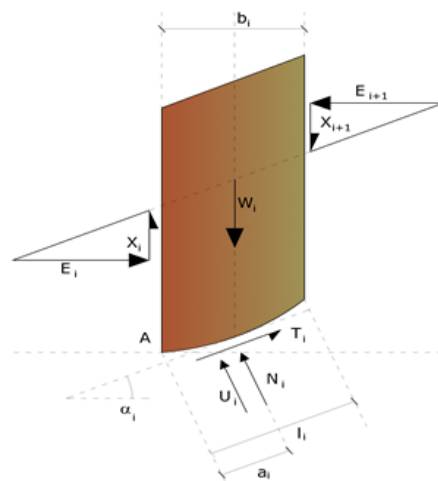
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

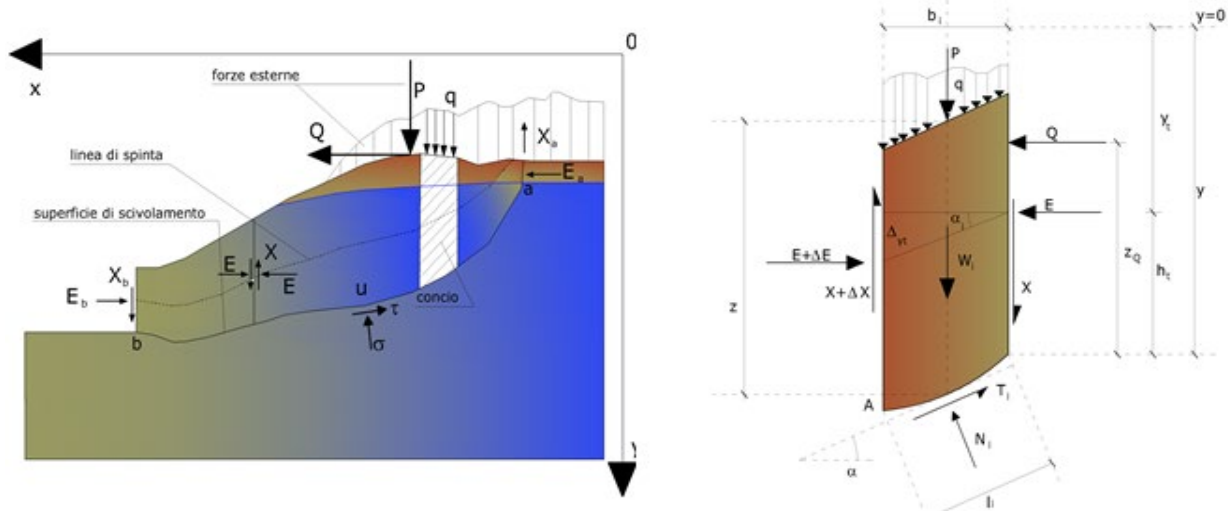
### Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$



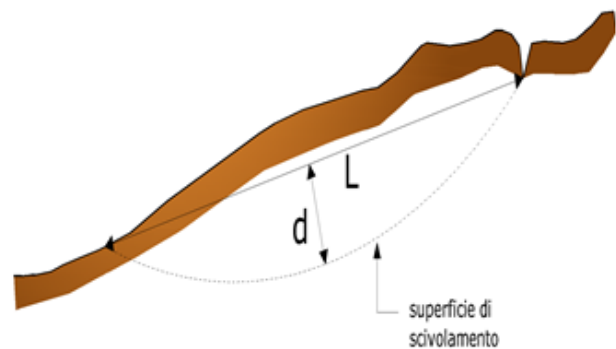
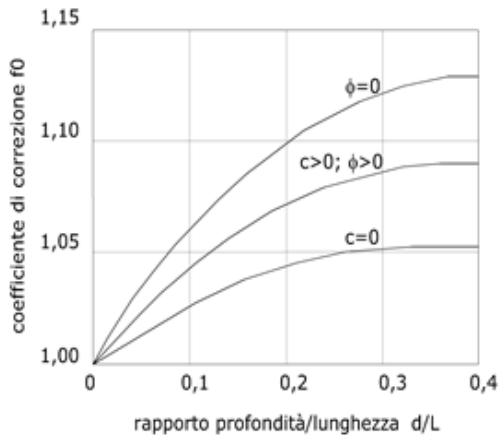


**Azioni sul concio  $i$ -esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso**

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>LINEA BOLZANO - MERANO: ADEGUAMENTO/INTEGRAZIONE</b> <b>PP 2013 REALIZZAZIONE NUOVO TUNNEL DEL VIRGOLO A 3</b> <b>BINARI - SPOSTAMENTO BIVIO LINEA MERANESE</b>					
	<b>Rilevati e trincee ferroviari</b> <b>Relazione di calcolo stabilità e cedimenti</b>	COMMESSA NB1D	LOTTO 01	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHGE0000001	REV. A

### Valutazione dell'azione sismica

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **F<sub>H</sub>** e **F<sub>V</sub>** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K<sub>x</sub>** coefficiente sismico orizzontale;
- **K<sub>y</sub>** coefficiente sismico verticale.

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

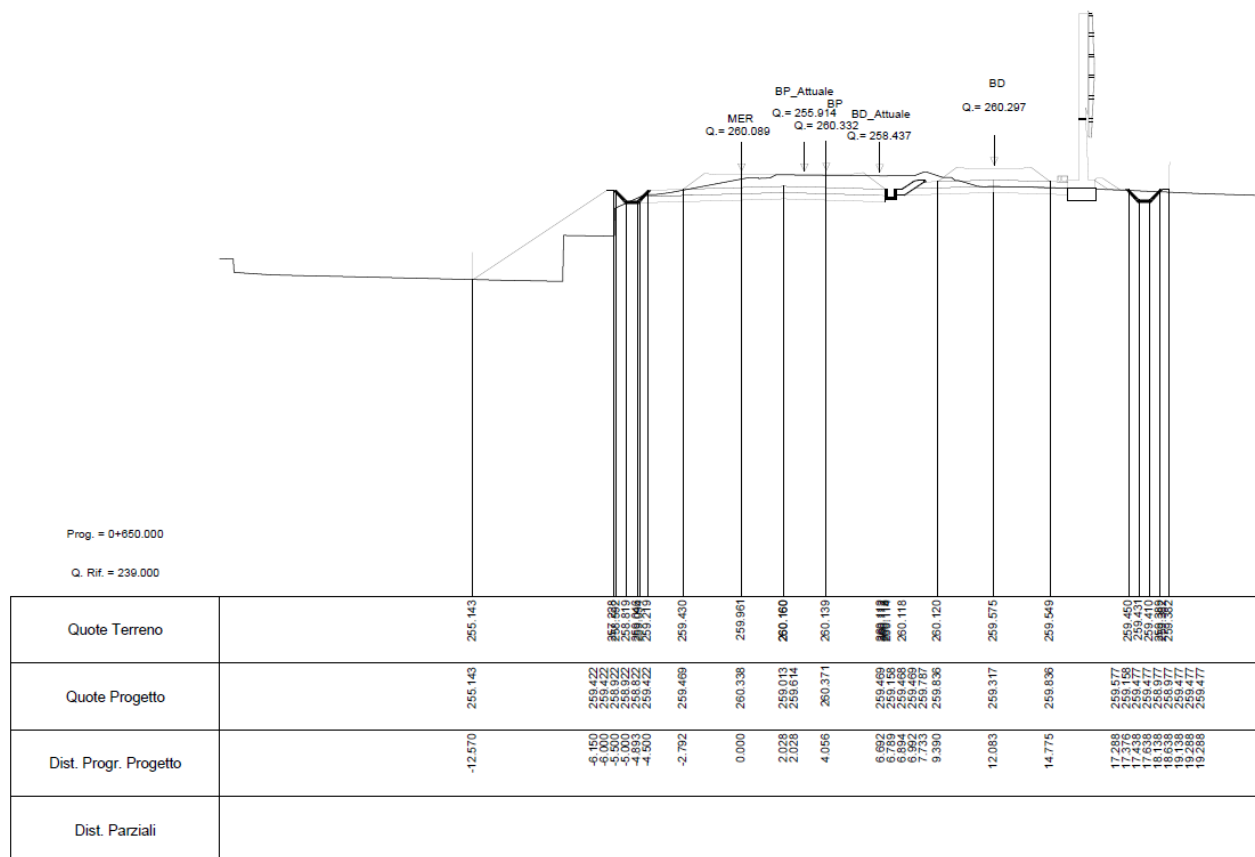
In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

## 5.2 ANALISI DI STABILITA'

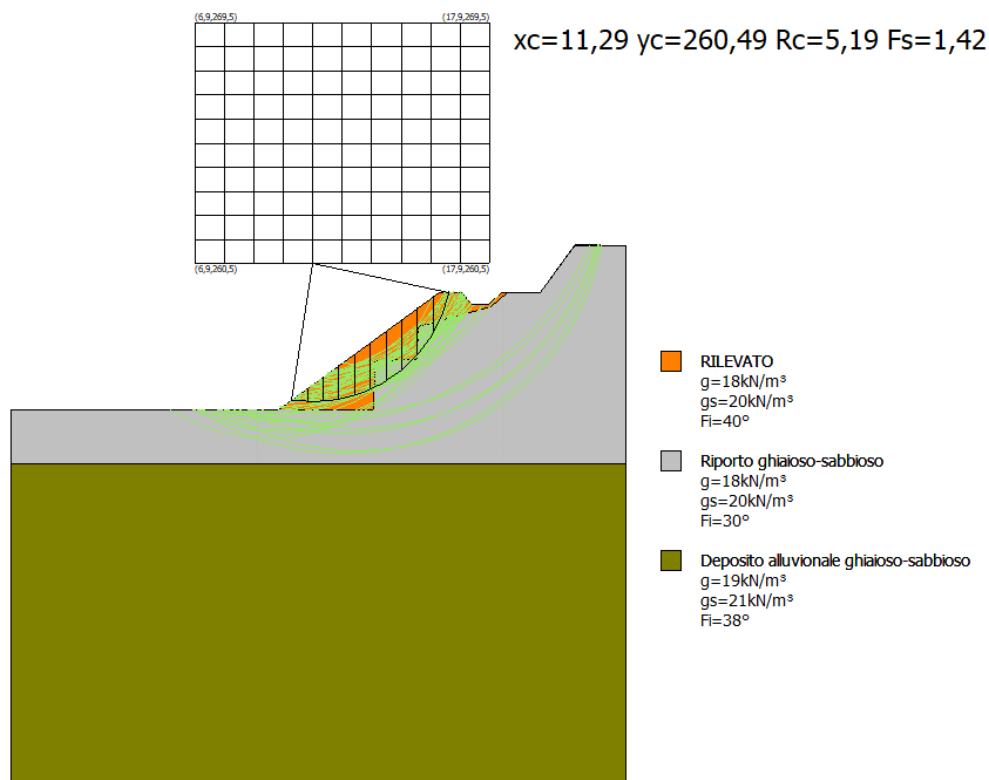
Si riportano nel seguito le risultanze delle analisi di stabilità condotte in riferimento alle due sezioni di progetto che presentano le maggiori criticità.

**Sezione progr. 0+650.00**



**Figura 7: Sezione di calcolo [Sez. progr. 0+650.00]**

Lat./Long.	46,485621/11,340396
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conchi	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	



**Figura 8: Modello di calcolo [Sez. progr. 0+650.00]**

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6,89	m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	260,49	m
Ascissa vertice destro superiore xs	17,89	m
Ordinata vertice destro superiore ys	269,49	m
Passo di ricerca	10,0	
Numero di celle lungo x	10,0	
Numero di celle lungo y	10,0	

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie	
Classe d'uso:	Classe IV	
Vita nominale:	50,0	[anni]
Vita di riferimento:	100,0	[anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,26	2,51	0,2
S.L.D.	101,0	0,31	2,49	0,23
S.L.V.	949,0	0,62	2,69	0,38
S.L.C.	1950,0	0,74	2,79	0,42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Classe IV

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,312	1,0	0,0318	0,0159
S.L.D.	0,372	0,47	0,0178	0,0089
S.L.V.	0,744	0,38	0,0288	0,0144
S.L.C.	0,888	1,0	0,0906	0,0453

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,018

Coefficiente azione sismica verticale 0,009

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	255,0
2	10,0	255,0
3	16,0	259,42
4	16,84	259,42
5	17,22	258,95
6	17,85	258,95
7	18,35	259,42
8	19,78	259,39
9	21,09	261,18
10	22,97	261,15

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	255,0
2	13,55	255,0
3	13,59	256,88
4	15,2	256,92
5	15,22	258,12
6	17,94	258,87
7	18,55	259,42
8	19,78	259,4
9	21,07	261,17
10	22,21	261,16
11	22,97	261,15

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	253,0
2	22,97	253,0

### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0  
Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 1,0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25  
Coesione efficace 1,25  
Coesione non drenata 1,4  
Riduzione parametri geotecnici terreno No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	0	40	18	20	RILEVATO	
2	0	0	30	18	20	Riporto ghiaioso-sabbioso	
3	0	0	38	19	21	Deposito alluvionale ghiaioso-sabbioso	

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato → **1,42 VERIFICATO**  
Ascissa centro superficie 11,29 m  
Ordinata centro superficie 260,49 m  
Raggio superficie 5,19 m

### Numero di superfici esaminate....(188)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	6,9	260,5	7,2	5,07
2	7,4	260,9	8,6	3,20
3	8,0	260,5	7,9	2,85
4	8,5	260,9	7,4	2,19
5	9,1	260,5	6,7	2,01
6	9,6	260,9	7,0	1,68
7	10,2	260,5	6,2	1,58
8	10,7	260,9	6,3	1,46
9	11,3	260,5	5,2	1,42
10	11,8	260,9	4,7	1,54
11	12,4	260,5	4,7	1,55
12	12,9	260,9	4,2	1,65
13	13,5	260,5	4,3	1,88
14	14,0	260,9	7,2	1,79

15	14,6	260,5	6,9	1,80
16	15,1	260,9	7,1	1,94
17	15,7	260,5	5,9	2,13
18	16,2	260,9	6,1	2,12
19	16,8	260,5	5,6	2,23
20	17,3	260,9	5,1	2,53
21	17,9	260,5	4,2	2,73
22	6,9	261,4	8,5	3,84
23	7,4	261,8	9,1	2,80
24	8,0	261,4	8,2	2,42
25	8,5	261,8	8,8	2,10
26	9,1	261,4	7,8	1,84
27	9,6	261,8	7,3	1,62
28	10,2	261,4	7,2	1,56
29	10,7	261,8	6,4	1,45
30	11,3	261,4	5,9	1,44
31	11,8	261,8	5,8	1,54
32	12,4	261,4	5,3	1,60
33	12,9	261,8	8,2	1,78
34	13,5	261,4	8,6	1,76
35	14,0	261,8	8,1	1,76
36	14,6	261,4	7,6	1,83
37	15,1	261,8	7,1	2,00
38	15,7	261,4	6,6	2,08
39	16,2	261,8	5,5	2,33
40	16,8	261,4	5,6	2,25
41	17,3	261,8	4,7	2,65
42	17,9	261,4	4,1	2,74
43	6,9	262,3	8,2	5,52
44	7,4	262,7	9,8	2,55
45	8,0	262,3	8,8	2,30
46	8,5	262,7	8,5	1,96
47	9,1	262,3	7,4	1,65
48	9,6	262,7	8,0	1,53
49	10,2	262,3	6,7	1,48
50	10,7	262,7	6,9	1,49
51	11,3	262,3	6,3	1,50
52	11,8	262,7	6,3	1,60
53	12,4	262,3	5,8	1,67
54	12,9	262,7	9,2	1,61
55	13,5	262,3	8,7	1,73
56	14,0	262,7	8,2	1,80
57	14,6	262,3	6,8	2,08
58	15,1	262,7	7,3	2,02
59	15,7	262,3	6,7	2,05
60	16,2	262,7	6,4	2,19
61	16,8	262,3	5,2	2,60
62	17,3	262,7	5,4	2,60
63	17,9	262,3	4,4	2,72
64	6,9	263,2	9,8	2,97
65	7,4	263,6	9,6	2,56
66	8,0	263,2	9,5	2,15
67	8,5	263,6	9,2	1,87
68	9,1	263,2	8,1	1,49
69	9,6	263,6	8,7	1,51
70	10,2	263,2	7,4	1,52

71	10,7	263,6	8,3	1,58
72	11,3	263,2	6,9	1,61
73	11,8	263,6	10,4	1,71
74	12,4	263,2	9,8	1,66
75	12,9	263,6	9,3	1,67
76	13,5	263,2	7,8	2,06
77	14,0	263,6	8,4	1,88
78	14,6	263,2	7,8	1,96
79	15,1	263,6	6,8	2,32
80	15,7	263,2	7,0	2,11
81	16,2	263,6	6,7	2,40
82	16,8	263,2	5,6	2,68
83	17,3	263,6	5,8	2,70
84	17,9	263,2	5,1	2,74
85	6,9	264,1	10,5	2,73
86	7,4	264,5	11,2	2,29
87	8,0	264,1	10,2	2,03
88	8,5	264,5	9,9	1,78
89	9,1	264,1	8,8	1,49
90	9,6	264,5	9,1	1,50
91	10,2	264,1	8,8	1,52
92	10,7	264,5	8,2	1,64
93	11,3	264,1	7,8	1,65
94	11,8	264,5	9,4	1,80
95	12,4	264,1	9,9	1,61
96	12,9	264,5	9,6	1,76
97	13,5	264,1	9,0	1,87
98	14,0	264,5	8,7	1,96
99	14,6	264,1	8,1	2,02
100	15,1	264,5	7,2	2,69
101	15,7	264,1	6,7	2,67
102	16,2	264,5	6,6	2,99
103	16,8	264,1	6,5	2,59
104	17,3	264,5	6,3	2,84
105	17,9	264,1	5,6	2,87
106	6,9	265,0	11,3	2,52
107	7,4	265,4	11,0	2,20
108	8,0	265,0	10,0	1,51
109	8,5	265,4	10,2	1,49
110	9,1	265,0	10,2	1,64
111	9,6	265,4	10,4	1,58
112	10,2	265,0	9,8	1,63
113	10,7	265,4	10,6	1,72
114	11,3	265,0	11,2	1,71
115	11,8	265,4	9,6	1,90
116	12,4	265,0	10,1	1,68
117	12,9	265,4	9,9	1,84
118	13,5	265,0	9,3	1,90
119	14,0	265,4	8,3	2,85
120	14,6	265,0	7,7	2,89
121	15,1	265,4	8,3	2,33
122	15,7	265,0	7,1	3,08
123	16,2	265,4	7,1	3,72
124	16,8	265,0	6,5	3,37
125	6,9	265,9	12,0	2,42
126	7,4	266,3	12,5	2,16



Rilevati e trincee ferroviari

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1D	01	D26	RHGE0000001	A	25 di 36

127	8,0	265,9	11,4	1,92
128	8,5	266,3	10,6	1,65
129	9,1	265,9	10,5	1,53
130	9,6	266,3	10,4	1,65
131	10,2	265,9	9,9	1,65
132	10,7	266,3	12,0	1,73
133	11,3	265,9	11,4	1,66
134	11,8	266,3	11,1	1,78
135	12,4	265,9	10,5	1,83
136	12,9	266,3	10,3	1,95
137	13,5	265,9	9,7	2,01
138	14,0	266,3	8,7	3,30
139	14,6	265,9	8,9	2,28
140	15,1	266,3	8,8	2,58
141	15,7	265,9	8,1	2,62
142	16,2	266,3	8,0	3,09
143	16,8	265,9	7,0	21,83
144	7,4	267,2	11,9	1,63
145	8,5	267,2	13,6	2,03
146	9,1	266,8	10,8	1,66
147	9,6	267,2	11,9	1,70
148	10,2	266,8	11,3	1,73
149	10,7	267,2	12,3	1,74
150	11,3	266,8	11,7	1,76
151	11,8	267,2	10,4	2,34
152	12,4	266,8	9,8	2,42
153	12,9	267,2	10,8	2,11
154	13,5	266,8	9,2	3,08
155	14,0	267,2	10,0	2,48
156	14,6	266,8	9,4	2,50
157	15,1	267,2	9,3	2,92
158	15,7	266,8	8,7	3,02
159	16,2	267,2	8,6	3,59
160	6,9	267,7	13,3	2,32
161	7,4	268,1	12,4	1,89
162	8,0	267,7	12,3	1,58
163	8,5	268,1	12,7	1,61
164	9,1	267,7	12,4	1,71
165	9,6	268,1	12,1	1,80
166	10,2	267,7	11,5	1,90
167	10,7	268,1	11,4	2,04
168	11,3	267,7	10,9	2,19
169	11,8	268,1	12,0	2,01
170	12,4	267,7	10,3	2,59
171	12,9	268,1	11,3	2,40
172	13,5	267,7	10,6	2,47
173	14,0	268,1	10,5	2,79
174	14,6	267,7	9,9	2,84
175	8,0	268,6	12,8	1,70
176	8,5	269,0	13,2	1,71
177	9,1	268,6	12,7	1,74
178	9,6	269,0	12,5	1,93
179	10,2	268,6	13,4	1,86
180	10,7	269,0	13,2	1,99
181	11,3	268,6	11,4	2,30
182	11,8	269,0	12,5	2,21

**Rilevati e trincee ferroviari**

**Relazione di calcolo stabilità e cedimenti**

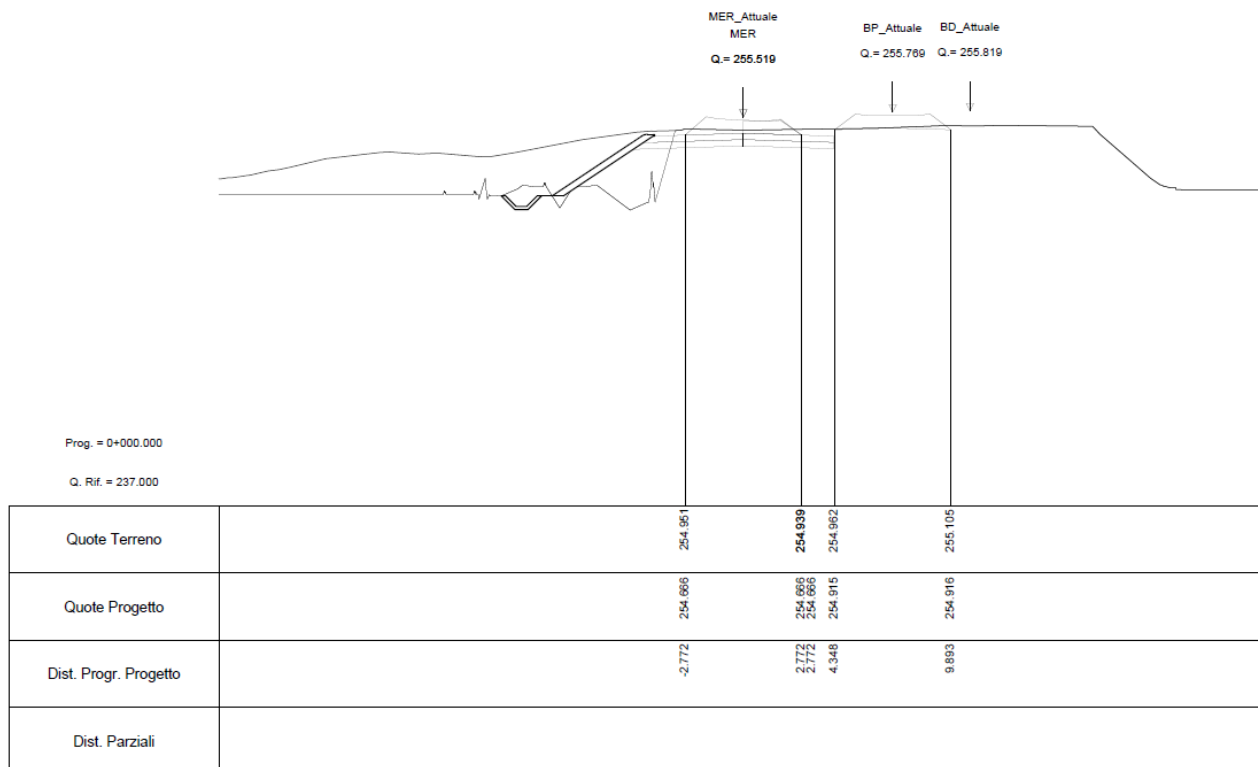
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1D	01	D26	RHGE0000001	A	26 di 36

183	12,9	269,0	11,8	2,88
184	13,5	268,6	11,2	2,79
185	14,6	268,6	10,5	4,69
186	8,0	269,5	14,9	2,01
187	9,1	269,5	14,6	1,89
188	13,5	269,5	11,7	3,61

=====

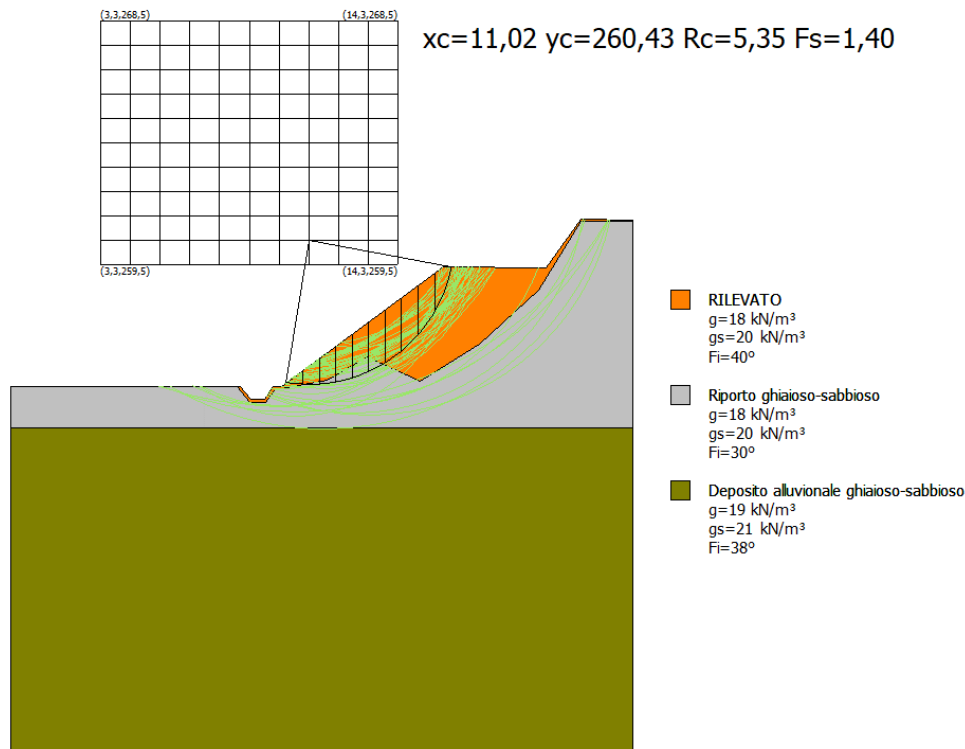
---

**Sezione progr. 0+000.00**



**Figura 9: Sezione di calcolo [Sez. progr. 0+000.00]**

Lat./Long.	46,485621/11,340396
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	



**Figura 10: Sezione di calcolo [Sez. progr. 0+000.00]**

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3,32 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	259,53 m
Ascissa vertice destro superiore xs	14,32 m
Ordinata vertice destro superiore ys	268,53 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	100,0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	60,0	0,26	2,51	0,2
S.L.D.	101,0	0,31	2,49	0,23
S.L.V.	949,0	0,62	2,69	0,38
S.L.C.	1950,0	0,74	2,79	0,42

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Classe IV

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,312	1,0	0,0318	0,0159
S.L.D.	0,372	0,47	0,0178	0,0089
S.L.V.	0,744	0,38	0,0288	0,0144
S.L.C.	0,888	1,0	0,0906	0,0453

Coefficiente azione sismica orizzontale

0,018

Coefficiente azione sismica verticale

0,009

**Vertici profilo**

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	255,0
2	8,5	255,0
3	8,88	254,53
4	9,38	254,53
5	9,71	255,0
6	10,0	255,0
7	16,0	259,42
8	19,78	259,39
9	21,09	261,18
10	23,0	261,15

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0,0	255,0
2	8,37	255,0
3	8,85	254,42
4	9,43	254,41
5	9,78	254,9
6	11,68	255,25
7	13,19	256,12
8	15,14	255,19
9	17,33	256,56
10	19,51	258,57
11	21,08	261,13
12	23,0	261,13

### Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	0,0	253,5
2	23,0	253,5

### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

### Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kN/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	0	40	18	20	RILEVATO	
2	0	0	30	18	20	Riporto ghiaioso- sabbioso	
3	0	0	38	19	21	Deposito alluvionale ghiaioso- sabbioso	

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	→ 1,4	<b>VERIFICATO</b>
Ascissa centro superficie	11,02 m	
Ordinata centro superficie	260,43 m	
Raggio superficie	5,35 m	

**Numero di superfici esaminate....(169)**

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	5,0	260,0	6,4	66,53
2	5,5	259,5	5,7	80,38
3	6,1	260,0	7,1	12,21
4	6,6	259,5	7,2	6,17
5	7,2	260,0	7,1	4,61
6	7,7	259,5	7,2	3,64
7	8,3	260,0	6,9	2,91
8	8,8	259,5	6,0	2,34
9	9,4	260,0	5,6	1,82
10	9,9	259,5	5,5	1,71
11	10,5	260,0	6,1	1,56
12	11,0	259,5	4,8	1,42
13	11,6	260,0	4,9	1,44
14	12,1	259,5	4,4	1,52
15	12,7	260,0	4,4	1,66
16	13,2	259,5	3,0	1,68
17	13,8	260,0	3,1	1,86
18	14,3	259,5	4,5	2,08
19	5,0	260,9	7,0	60,66
20	5,5	260,4	6,4	71,37
21	6,1	260,9	6,9	20,00
22	6,6	260,4	7,0	8,45
23	7,2	260,9	8,4	3,68
24	7,7	260,4	7,7	3,22
25	8,3	260,9	7,3	2,41
26	8,8	260,4	6,6	2,16
27	9,4	260,9	6,8	1,76
28	9,9	260,4	6,1	1,57
29	10,5	260,9	7,4	1,73
30	11,0	260,4	5,4	1,40
31	11,6	260,9	5,9	1,52
32	12,1	260,4	4,9	1,57
33	12,7	260,9	4,4	1,67
34	13,2	260,4	6,0	1,78
35	13,8	260,9	7,4	1,84
36	14,3	260,4	7,1	1,91
37	6,1	261,8	8,2	11,10
38	6,6	261,3	8,3	4,96
39	7,2	261,8	8,9	3,25
40	7,7	261,3	8,0	2,87
41	8,3	261,8	7,6	2,31
42	8,8	261,3	7,6	1,99
43	9,4	261,8	8,2	1,86
44	9,9	261,3	7,1	1,61
45	10,5	261,8	6,4	1,44
46	11,0	261,3	6,0	1,46

Rilevati e trincee ferroviari

Relazione di calcolo stabilità e cedimenti

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1D	01	D26	RHGE0000001	A	32 di 36

47	11,6	261,8	5,9	1,58
48	12,1	261,3	5,4	1,65
49	12,7	261,8	7,4	1,73
50	13,2	261,3	7,8	1,74
51	13,8	261,8	7,5	1,78
52	14,3	261,3	7,8	1,79
53	5,5	262,2	8,3	191,05
54	6,1	262,7	8,1	92,27
55	6,6	262,2	8,0	20,00
56	7,2	262,7	9,6	3,04
57	7,7	262,2	8,6	2,51
58	8,3	262,7	8,3	2,06
59	8,8	262,2	8,2	1,85
60	9,4	262,7	8,9	1,79
61	9,9	262,2	8,8	1,95
62	10,5	262,7	7,0	1,51
63	11,0	262,2	6,5	1,54
64	11,6	262,7	6,4	1,65
65	12,1	262,2	7,9	1,65
66	12,7	262,7	8,6	1,70
67	13,2	262,2	8,1	1,73
68	13,8	262,7	8,5	1,73
69	14,3	262,2	7,9	1,80
70	5,5	263,1	9,0	132,34
71	6,1	263,6	9,7	7,36
72	7,2	263,6	10,3	2,77
73	7,7	263,1	9,3	2,32
74	8,3	263,6	10,0	2,09
75	8,8	263,1	8,9	1,83
76	9,4	263,6	8,5	1,44
77	9,9	263,1	7,3	1,54
78	10,5	263,6	8,5	1,56
79	11,0	263,1	7,0	1,60
80	11,6	263,6	7,0	1,73
81	12,1	263,1	9,2	1,72
82	12,7	263,6	8,9	1,71
83	13,2	263,1	9,2	1,69
84	13,8	263,6	8,7	1,77
85	14,3	263,1	8,1	1,85
86	6,1	264,5	10,4	20,00
87	6,6	264,0	10,3	3,21
88	7,2	264,5	11,0	2,50
89	7,7	264,0	10,0	2,16
90	8,3	264,5	10,7	2,03
91	8,8	264,0	8,6	1,55
92	9,4	264,5	9,2	1,53
93	9,9	264,0	9,1	1,55
94	10,5	264,5	9,0	1,65
95	11,0	264,0	7,5	1,69
96	11,6	264,5	11,0	1,70



97	12,1	264,0	9,5	1,69
98	12,7	264,5	9,3	1,84
99	13,2	264,0	8,6	1,97
100	13,8	264,5	9,0	1,93
101	14,3	264,0	8,4	2,04
102	5,5	264,9	10,6	95,87
103	7,2	265,4	10,9	20,00
104	7,7	264,9	10,8	2,15
105	8,3	265,4	11,4	2,02
106	8,8	264,9	9,4	1,55
107	9,4	265,4	10,0	1,59
108	9,9	264,9	9,6	1,62
109	10,5	265,4	10,5	1,74
110	11,0	264,9	10,8	1,75
111	11,6	265,4	10,6	1,84
112	12,1	264,9	9,9	1,81
113	12,7	265,4	10,4	1,70
114	13,2	264,9	9,0	2,28
115	13,8	265,4	9,4	2,16
116	14,3	264,9	8,0	2,79
117	6,1	266,3	12,0	20,00
118	7,2	266,3	11,7	20,00
119	7,7	265,8	10,6	1,59
120	8,3	266,3	11,3	1,54
121	8,8	265,8	10,2	1,58
122	9,4	266,3	10,7	1,65
123	9,9	265,8	10,1	1,70
124	10,5	266,3	10,1	1,82
125	11,0	265,8	9,5	1,88
126	11,6	266,3	11,0	1,97
127	12,1	265,8	10,3	2,09
128	12,7	266,3	10,0	2,37
129	13,2	265,8	10,1	2,09
130	13,8	266,3	9,8	2,30
131	14,3	265,8	8,4	3,27
132	6,1	267,2	12,8	20,00
133	7,2	267,2	12,5	20,00
134	7,7	266,7	11,4	1,59
135	8,3	267,2	12,0	1,59
136	8,8	266,7	10,9	1,64
137	9,4	267,2	12,2	1,71
138	9,9	266,7	11,6	1,77
139	10,5	267,2	13,1	1,67
140	11,0	266,7	11,6	1,94
141	11,6	267,2	12,2	1,73
142	12,1	266,7	11,5	1,91
143	12,7	267,2	11,2	2,11
144	13,2	266,7	10,5	2,21
145	13,8	267,2	9,6	3,19
146	14,3	266,7	9,6	2,57

147	6,6	267,6	13,5	2,48
148	7,2	268,1	14,1	2,31
149	7,7	267,6	12,2	1,61
150	8,3	268,1	12,8	1,65
151	8,8	267,6	11,7	1,70
152	9,4	268,1	11,9	1,81
153	9,9	267,6	13,8	1,71
154	10,5	268,1	12,0	2,01
155	11,0	267,6	12,1	2,08
156	11,6	268,1	11,2	2,29
157	12,1	267,6	11,9	1,99
158	12,7	268,1	11,7	2,28
159	13,2	267,6	11,0	2,37
160	13,8	268,1	10,1	3,51
161	14,3	267,6	10,1	2,77
162	6,6	268,5	13,5	1,64
163	7,7	268,5	13,0	1,65
164	8,8	268,5	13,3	1,74
165	9,9	268,5	14,2	1,68
166	11,0	268,5	11,9	2,19
167	12,1	268,5	12,4	2,20
168	13,2	268,5	11,5	2,52
169	14,3	268,5	10,7	3,03

## 6 CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti, qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche SPT, è possibile fare affidamento al metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità  $I_c$  al risultato  $N$  della prova penetrometrica dinamica.

L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{v0} \cdot B^{0.7} \cdot I_C / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0.7} \cdot I_C \right]$$

nella quale:

- $q'$ : pressione efficace lorda;
- $\sigma'_{v0}$ : tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;
- $B$ : larghezza della fondazione;
- $I_c$ : Indice di compressibilità;
- $f_s, f_H, f_t$ : fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità  $I_c$  è legato al valore medio  $N_{av}$  di  $N_{spt}$  all'interno di una profondità significativa  $z$ :

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Per quanto riguarda i valori di  $N_{spt}$  da utilizzare nel calcolo del valore medio  $N_{AV}$  va precisato che i valori vanno corretti, per sabbie con componente limosa sotto falda e  $N_{spt} > 15$ , secondo l'indicazione di Terzaghi e Peck (1948):

$$N_c = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

dove  $N_c$  è il valore corretto da usare nei calcoli.

Per depositi ghiaiosi o sabbioso-ghiaiosi il valore corretto è pari a:

$$N_c = 1.25 \cdot N_{spt}$$

Le espressioni dei fattori correttivi  $f_s, f_H$  e  $f_t$  sono rispettivamente:

$$f_s = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2 \quad f_H = \frac{H}{z_i} \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right) \quad f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

con:

$t$  tempo in anni  $> 3$ ;

$R_3$  costante pari a 0.3 per carichi statici e 0.7 per carichi dinamici;

$R$  0.2 nel caso di carichi statici e 0.8 per carichi dinamici.

Si riportano nel seguito gli esiti della verifica effettuata in riferimento alla sezione più significativa, corrispondente alla Sez. Progr. 0+650.00.

## DATI GENERALI

Larghezza fondazione	7.0	m
Lunghezza fondazione	10.0	m
Profondità piano di posa	0.0	m

## CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto	20.0	kN/m <sup>2</sup>
Tempo	30.0	anni
Profondità significativa Zi (m)	5.212	
Media dei valori di N <sub>spt</sub> all'interno di Zi	50	
Fattore di forma fs	1.132	
Fattore strato compressibile fh	1	
Fattore tempo ft	1.5	
Indice di compressibilità	0.007	
Cedimento	0.378	mm