

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA CATANIA - SIRACUSA

DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE GEOTECNICHE

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta

GEOTECNICA

Relazione di calcolo trincee

SCALA:

-

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

RS62 01 R 11 RH GE0006 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
	Emissione esecutiva	PINI		L. Cosciotti		P. Carlesimo		L. Berardi Novembre 2022

File: RS6201R11RHGE0006002A.doc

n. Elab.:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>6</b>
3.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	6
3.2	BIBLIOGRAFIA.....	6
3.3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	7
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO/ GEOTECNICO DELL'AREA DI PROGETTO</b> .....	<b>8</b>
4.1	ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE.....	8
4.2	ASSETTO GEOLOGICO LOCALE .....	9
4.2.1	<i>Supersintema degli Iblei Settentrionali - Sintema di Lentini</i> .....	9
4.2.2	<i>Depositi continentali quaternari</i> .....	9
4.2.3	<i>Depositi marini e transazionali quaternari</i> .....	11
4.3	ASSETTO STRUTTURALE .....	11
4.4	UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b> .....	<b>14</b>
5.1	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE .....	14
5.2	VITA NOMINALE E PERIODO DI RIFERIMENTO .....	14
5.3	STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODI DI RITORNO .....	16
5.4	EFFETTI DI SITO.....	17
<b>6</b>	<b>INDICAZIONI SULLA FALDA</b> .....	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI</b> .....	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>SEZIONE DI ANALISI</b> .....	<b>19</b>
<b>9</b>	<b>METODOLOGIA DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLE SCARPATE STRADALI</b> .....	<b>20</b>
9.1	APPROCCIO DI CALCOLO .....	20

9.2	VERIFICHE DI SICUREZZA ALLO SLU SECONDO LA NORMATIVA TECNICA NAZIONALE.....	22
<b>10</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ .....</b>	<b>24</b>
10.1	MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO.....	24
10.2	RISULTATI.....	24

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 4 di 25

## 1      **PREMESSA**

Nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica del *Collegamento ferroviario con il porto di Augusta* (SR), sono stati effettuati gli approfondimenti geotecnici propedeutici al dimensionamento delle opere d'arte previste dal progetto.

Si riportano di seguito le analisi di stabilità per la sezione tracciata alla pk 0+450 del binario I porto, rappresentativa di una condizione critica per altezza del fronte di scavo e materiale in cui esso è realizzato.

## 2      **INQUADRAMENTO DELL'AREA DI STUDIO**

L'area di studio si colloca a ridosso della costa sud-orientale ionica della Sicilia in corrispondenza del nuovo binario I del porto di Augusta che si sviluppa per una lunghezza di circa 1.4 km nella tratta Catania-Siracusa. Il tracciato di progetto interessa il territorio del comune di Augusta, in provincia di Siracusa (SR).

Con riferimento alla Carta Topografica d'Italia edita dall'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.), l'area oggetto di studi è individuabile all'interno del Foglio 274 (Siracusa) in scala 1:100000, nelle Tavole 274-IV-SE (Melilli) e 274-I-SO (Augusta) in scala 1:25000 e, con riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Sicilia, nella sezione 641150 in scala 1:10000.

Dal punto di vista orografico il binario I porto impegna settori di territorio posti a quote comprese tra 5 m s.l.m. e 14 m s.l.m. circa, il binario di presa e consegna tra 3 m s.l.m. e 22 m s.l.m. e il binario banchina tra 0 m s.l.m. e 13 m s.l.m. Dal punto di vista morfologico, l'area di studio si caratterizza per la presenza di ampi settori pianeggianti o sub-pianeggianti riconducibili alla fascia costiera ionica caratterizzata da pianure costiere.



**Figura 1 – Corografia in scala 1:50000 dell’area di studio geologico con individuazione delle opere in progetto (binario I porto in blu, binario banchina in magenta e binario di presa e consegna in verde).**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 6 di 25

### 3 **NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

#### 3.1 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2021- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [5] AGI (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

#### 3.2 **BIBLIOGRAFIA**

- [6] Lambe T.W.& R. V. Whitman (1969). Soil Mechanics.
- [7] Lancellotta, R (2009). Geotechnical Engineering – Second Edition. Taylor & Francis.
- [8] Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S. and Boyce, G.M. (2001). Slope Stability and Stabilization Methods, 2nd edition, John Wiley & Sons.
- [9] Duncan, J.M. and Wright, S.G. (2005). Soil Strength and Slope Stability, John Wiley and Sons Inc.
- [10] Whitman, R.V. and Bailey, W.A. (1967). "Use of computers for slope stability analysis". ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Engineering Division, 93, pp. 519-542.
- [11] Sarma, S.K. (1979). “Stability Analysis of Embankments and Slopes”. J. Geotech. Eng. Div. ASCE 105, No. 12, pp. 1511-1524.

[12] Husein Malkawi, A.I., Hassan, W.F., and Sarma, S.K. (2001). "Global Search Method for Locating General Slip Surface using Monte Carlo Techniques." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, August 2001.

[13] Jibson, R.W., Rathje, E.M., Jibson, M.W., and Lee, Y.W. (2013). SLAMMER—Seismic Landslide2 Movement Modeled using Earthquake Records (ver.1.1, November 2014): U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 12, chap. B1, unpagued.

### 3.3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

[14] Indagini Geognostiche: Sondaggi e prove in foro (Doc. RS6200R69SGGE0001001A)

[15] Indagini Geognostiche: Prove di Laboratorio (Doc. RS6200R69PRGGE0001001A)

[16] Indagini Geognostiche: Indagini Geofisiche (Doc. RS6200R69IGGE0001001A)

[17] Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica (Doc. RS6200R69RGGE0001001A)

[18] Carta geologico con elementi di geomorfologia e profilo geologico (Doc. RS6200R69L5GE0001001A)

[19] Relazione geotecnica generale (Doc. RS6200R11RGGE0006001A)

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO/ GEOTECNICO DELL'AREA DI PROGETTO

### 4.1 ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE REGIONALE

L'area di studio ricade nel settore orientale della Sicilia, lungo il margine NE dei Monti Iblei. La zona di interesse si colloca a breve distanza dal litorale ionico e presenta una morfologia tipicamente basso-collinare, con ampie superficie terrazzate blandamente degradanti verso la costa. L'assetto geologico è caratterizzato dalla presenza di una spessa successione pelitica pleistocenica, su cui poggiano depositi di panchina tardo-pleistocenici e sedimenti marini, continentali e transizionali quaternari.

Il territorio siciliano presenta una conformazione geologica s.l. piuttosto articolata e complessa, strettamente legata ai differenti processi geodinamici e morfoevolutivi che si sono verificati nell'area durante il Quaternario (Lentini et al. 1991; Finetti et al. 1996; Monaco et al. 2000, 2002; Carbone 2011), quali l'attività vulcano-tettonica, le variazioni del livello marino e l'attività antropica.

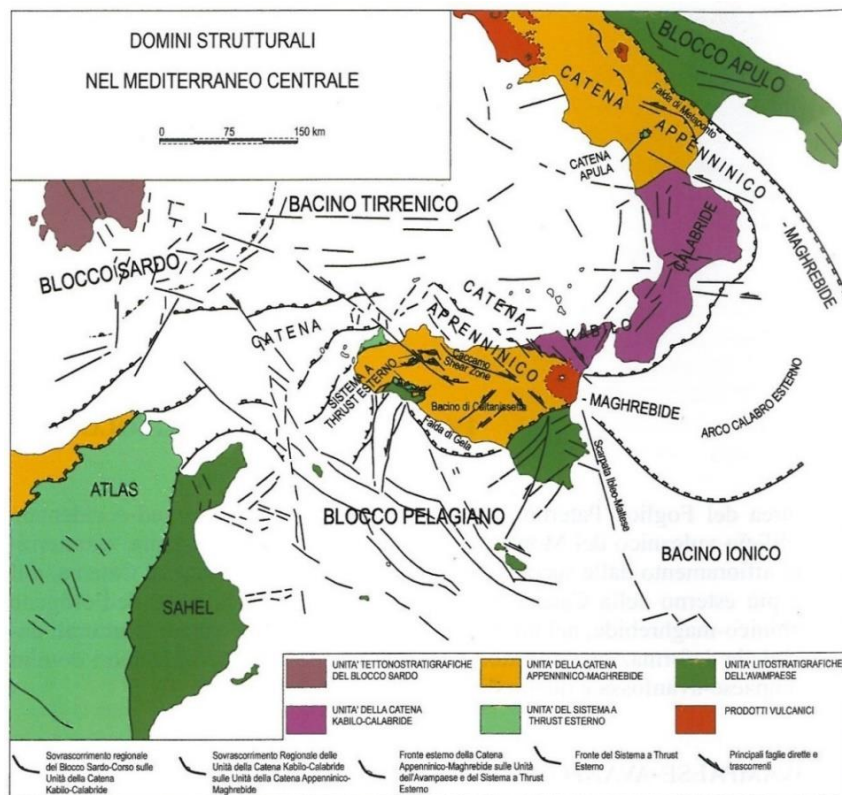


Figure 4-1 – Domini strutturali ed elementi tettonici nel Mediterraneo centrale (da Lentini et al. 1995, modificato).



	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 9 di 25

## 4.2 ASSETTO GEOLOGICO LOCALE

Le analisi effettuate ed i rilievi di campo condotti hanno permesso di distinguere differenti unità geologiche, appartenenti alle sequenze sedimentarie di substrato e a successioni clastiche di copertura. In particolare, le perimetrazioni e le descrizioni geologico-strutturali delle unità individuate nell'area derivano da un'integrazione tra le informazioni riportate in letteratura ed i dati raccolti attraverso il rilevamento geologico di superficie e le numerose indagini geognostiche a disposizione.

Nei settori di stretto interesse progettuale sono state individuate e perimetrare le unità geologiche, descritte di seguito, dal basso verso l'alto stratigrafico. Si sottolinea che, seguendo i criteri definiti dal Servizio Geologico (Pasquaré et al. 1992), le successioni sono state suddivise utilizzando unità stratigrafiche convenzionali, talora ulteriormente suddivise in membri e litofacies caratterizzate da peculiari caratteristiche litologiche, sedimentologiche e stratigrafiche.

### 4.2.1 *Supersintema degli Iblei Settentrionali - Sintema di Lentini*

La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui *Arctica islandica*; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.

### 4.2.2 *Depositi continentali quaternari*

#### 4.2.2.1 *Depositi alluvionali recenti*

I presenti litotipi si rinvengono, in lembi di limitata estensione, in corrispondenza di due piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale dell'area di studio, immediatamente a nord del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e piana inondabile, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sintema Lentini e mostrano uno spessore massimo di circa 4 m. Dal punto di vista cronologico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è composta prevalentemente da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 10 di 25

angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limosa grigiastra.

#### 4.2.2.2 Depositi alluvionali attuali

I depositi in esame affiorano unicamente in corrispondenza degli alvei attuali di piccoli corsi d'acqua presenti nella porzione meridionale della zona di intervento, in prossimità del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di canale fluviale e argine, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 1 m. Sotto il profilo cronostratigrafico, l'unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

Dal punto di vista litologico, l'unità è composta da ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

#### 4.2.2.3 Coltri eluvio-colluviali

Tali terreni si rinvencono diffusamente come copertura delle unità geologiche di substrato, sia alla base dei rilievi presenti in prossimità della costa che all'interno delle principali depressioni impluviali. Si tratta di depositi continentali di versante, dilavamento e di alterazione del substrato, costituiti da una singola litofacies a composizione limoso-argilloso. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 4 m. Anche questa unità è riferibile al periodo Olocene – Attuale.

L'unità è formata essenzialmente da limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 11 di 25

#### 4.2.2.4 Riporti antropici

I presenti depositi si rinvencono diffusamente in corrispondenza delle principali strutture e infrastrutture antropiche, oltre che in tutta la zona del Porto di Augusta. Si tratta di depositi continentali di genesi antropica, costituiti da una singola litofacies a composizione ghiaioso-sabbiosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sulle unità più antiche e presentano uno spessore massimo di circa 9 m. L'unità è interamente riferibile al periodo Attuale.

In generale, i riporti sono composti da ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.

#### 4.2.3 Depositi marini e transazionali quaternari

Depositi di spiaggia attuali si rinvencono nel settore sud-orientale dell'area di studio, in prossimità del litorale ionico. Si tratta di depositi marini di spiaggia e cordone litoraneo, costituiti da una singola litofacies a composizione sabbioso-limosa. Poggiano in contatto stratigrafico discordante sui depositi del Sistema Lentini e sono caratterizzati da uno spessore massimo di circa 8 m. Dal punto di vista cronostatigrafico, i terreni in esame sono riferibili all'Olocene – Attuale.

L'unità è formata da sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvencono diffusi e discontinui lag conchigliari con abbondanti resti di *Tellina* sp., *Cardidae* e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.

### 4.3 ASSETTO STRUTTURALE

L'area di studio presenta quindi un assetto strutturale estremamente semplice e regolare, in quanto connesso a successioni marine e continentali piuttosto recenti. I termini pelitici del substrato, riferibili al Subsistema di Scordia (LEI2) mostrano un assetto prevalentemente sub-orizzontale o debolmente inclinato verso la costa. Solo nei settori esterni del Bacino di Augusta è possibile osservare un assetto

blandamente immergente verso il depocentro, con angoli che comunque non superano quasi mai i 5-10° circa.

I depositi terrazzati del Sintema di Augusta (AUG) poggiano con una superficie fortemente erosiva sui depositi pelitici più antichi e presentano un assetto generalmente immergente verso la costa. Solo localmente è possibile osservare una debole inclinazione verso la zona centrale del Bacino di Augusta, con angoli generalmente inferiori a quelli del Subsintema di Scordia (LEI2).

In tutta l'area di interesse progettuale non sono stati osservati elementi tettonici quali faglie, thrust e pieghe. L'assenza di questi elementi è connessa sia alla presenza di diffuse coperture oloceniche, che tendono a mascherare le strutture più antiche, che all'età relativamente recente dei termini di substrato e alla natura prevalentemente pelitica degli stessi.

#### 4.4 UNITÀ GEOTECNICHE

Si riportano di seguito le unità geotecniche individuate lungo il tracciato dell'infrastruttura di progetto, rimandando alla Relazione Geotecnica Generale per i relativi approfondimenti [19].

**Tabella 1: Sintesi delle unità geotecniche presenti nell'area di progetto**

Unità Geotecnica	Unità Geologica	Descrizione
R	<b>h</b> Riporti antropici	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (h), da angolose a sub-angolose, con locali frammenti di laterizi, in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso di colore grigio, marrone e avana, da scarsa ad abbondante; a luoghi si rinvencono passaggi di sabbie e sabbie limose grigie, marroni e giallastre, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e abbondanti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	<b>b2</b> Coltri eluvio-colluviali	<i>Limi argillosi e argille limoso-sabbiose di colore marrone, grigio e brunastro (b2), a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvencono passaggi di limi sabbiosi e sabbie limose di colore marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffusi resti vegetali e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.</i>
	<b>ba1</b> Depositi alluvionali attuali	<i>Ghiaie poligeniche ed eterometriche (ba1), da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limoso di colore grigio e giallastro, da scarsa ad abbondante; si rinvencono frequenti passaggi di sabbie e sabbie limose di colore grigio e marrone, a struttura indistinta, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.</i>
	<b>bb2</b> Depositi alluvionali recenti	<i>Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro (bb2), a struttura indistinta o debolmente laminata, con locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; si rinvencono intercalazioni di argille limose grigie con abbondante materiale organico e lenti di ghiaie poligeniche in scarsa matrice sabbioso-limoso grigiastra.</i>
	<b>g2</b> Depositi di spiaggia attuali	<i>Sabbie medie e grossolane ben classate di colore giallo-biancastro (g2), in strati da molto sottili a medi, generalmente amalgamati, con locali intercalazioni di limi e sabbie fini; si rinvencono diffusi e discontinui lag</i>

Unità Geotecnica	Unità Geologica	Descrizione
		<i>conchigliari con abbondanti resti di Tellina sp., Cardidae e rari gasteropodi; talora sono presenti lenti e/o livelli di sabbie ghiaiose di colore biancastro.</i>
	<b>gn2/gn3</b> Depositi marini terrazzati	<i>Depositi marini di spiaggia, laguna e cordone litoraneo composto da due distinte litofacies:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- gn2, litofacies composta da sabbie e sabbie limose massive disposte in strati da molto sottili a medi, con locali intercalazioni di ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate e sabbie limoso-argillose ed argille limose;</li> <li>- gn3, argille limose e argille sabbiose con locali ghiaie e ciottoli poligenici da sub-angolosi ad arrotondati; si rinvengono intercalazioni di sabbie, sabbie limose, sabbie limoso-argillose.</li> </ul>
<b>UG1</b>	<b>LEI2</b> Sintema di Lentini	<i>La successione in esame è formata da argille limose e argille limoso-marnose di colore grigio e grigio-azzurro, giallastre per alterazione (LEI2), massive o debolmente stratificate, con diffusi residui carboniosi, locali resti fossili e sottili livelli di sabbie e sabbie limose di colore giallastro; alla base dell'unità sono presenti lenti, spesse fino a 2 m, di sabbie e calcareniti ricche di molluschi, tra cui Arctica islandica; in superficie è localmente presente un paleosuolo bruno con rari resti di vertebrati.</i>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 14 di 25

## 5 INQUADRAMENTO SISMICO

Richiamando quanto già riportato nella Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrogeologica e Sismica [17], nel presente paragrafo vengono riassunti gli aspetti principali relativi alla sismicità dell'area oggetto di studio.

L'azione sismica è definita in accordo con la normativa tecnica vigente (NTC 2018 [1]), a partire dalla *pericolosità sismica di base* del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sottosuolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione  $S_e(T)$  corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza ( $P_{VR}$ ) nel periodo di riferimento ( $V_R$ ) per la vita utile della struttura. La funzione spettrale  $S_e(T)$ , al substrato rigido di riferimento, è definita dai seguenti parametri:

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

Nei paragrafi seguenti verrà definita la vita di riferimento dell'opera ( $V_R$ ), in base alla classificazione delle parti d'opere in progetto. Successivamente, verranno indicati gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, arrivando a definire i periodi di ritorno ( $T_R$ ) corrispondenti dell'azione sismica da considerare, determinata a sua volta per condizioni di suolo rigido ed a livello del piano campagna in corrispondenza di alcuni punti di interesse.

### 5.1 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE

### 5.2 VITA NOMINALE E PERIODO DI RIFERIMENTO

La Vita Nominale  $V_N$  di un'opera è il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria. La norma (NTC 2018) indica dei valori di riferimento per macro categorie di opere:

- $V_N \leq 10$  anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 15 di 25

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

Nel caso in esame è stata assunta:

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

La norma indica, inoltre, 4 classi d'uso distinte in base all'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico associando ad ogni classe un coefficiente d'uso ( $C_U$ ), moltiplicativo di  $V_N$ :


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

Nel caso in esame si assume:

$$\text{Classe d'uso II } (C_U = 1)$$

Pertanto, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento pari a:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1 = 75 \text{ anni}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 16 di 25

### 5.3 STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODI DI RITORNO

L'azione sismica di progetto deve essere determinata in funzione della probabilità di superamento  $P_{VR}$  dipendente dagli Stati Limite di verifica e correlata a periodo di ritorno ( $T_R$ ) e periodo di riferimento ( $V_R$ ) attraverso la seguente formulazione

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

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

#### Stato Limite Ultimo (SLU)

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, SLV, definito come lo stato limite in corrispondenza del quale la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontale. Ad esso è associata una probabilità di superamento  $P_{VR}=10\%$ ;
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, SLC, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali. Ad SLC è associata una  $P_{VR}=5\%$ .

#### Stato limite di Esercizio (SLE)

- Stato Limite di immediata Operatività SLO per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico ( $P_{VR}=81\%$ );
- Stato Limite di Danno SLD definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo ( $P_{VR}=63\%$ ).

Considerando il periodo di riferimento assunto ( $V_R=75$  anni), ai quattro stati limite sopra descritti corrispondono i tempi di ritorno  $T_R$  riportati in Tabella:

**Tabella 2: Periodi di ritorno per l'azione sismica, per i diversi stati limite ( $V_R = 75$  anni).**

STATO LIMITE	$T_R$ [anni]
--------------	--------------



SLO	45
SLD	75
SLV	712
SLC	1462

#### 5.4 EFFETTI DI SITO

Gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica sono stati valutati utilizzando l'approccio semplificato fornito dalle NTC 2018, che definiscono un fattore di amplificazione sismica ( $S$ ) come prodotto di un fattore di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e uno di amplificazione topografica ( $S_T$ ):

$$S = S_s \cdot S_T$$

Il fattore di amplificazione stratigrafica viene calcolato in funzione di  $a_g$  ed  $F_0$  in dipendenza dalla categoria sismica di sottosuolo. La categoria sismica viene assegnata in base alla velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  (in m/s) definita come:

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

dove:

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

Per il sito in esame, si dispone dei risultati di 3 prove sismiche di superficie tipo MASW e 2 in foro tipo Down-Hole che forniscono valori di  $V_{s,eq}$  riportati nella tabella seguente.

**Tabella 3: Risultati prove sismiche e categoria di sottosuolo**

Prova	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sismica di suolo
-------	------------------	----------------------------

Prova	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sismica di suolo
MASW 1	196	C
MASW 2	193	C
MASW 3	219	C
BH13-DH	178	C
BH14-DH	229	C

L'area di progetto non presenta rilievi con pendenza maggiore di 15° ed è classificabile come di categoria T1 ( $S_T = 1$ ) [17].

Il valori del fattore di amplificazione  $S$  e dell'accelerazione massima in superficie  $a_{max} = S \cdot a_g$  associati allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) sono riportati in tabella:

**Tabella 4 Valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per ogni Stato Limite considerato**

Stato limite	$P_{VR}$	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
SLV	10%	712	0.284	2.31	0.45

**Tabella 5 Valori dei coefficienti di sito  $S$  e dell'accelerazione di massima in superficie**

CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO	$S$	$C_c$	$a_{max}$ (g)
C	1,306	1,370	0,371

## 6 INDICAZIONI SULLA FALDA

I livelli di falda sono stati definiti a partire delle valutazioni idrogeologiche riportate negli specifici elaborati [18] e sulla base delle letture piezometriche disponibili effettuate nell'ambito della campagna ITALFERR 2022.

Il livello di falda di progetto varia lungo lo sviluppo dell'infrastruttura tra i 1.5m e 7.0m di profondità dal piano campagna ed è indicato nel profilo geologico di riferimento [18].

## 7 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

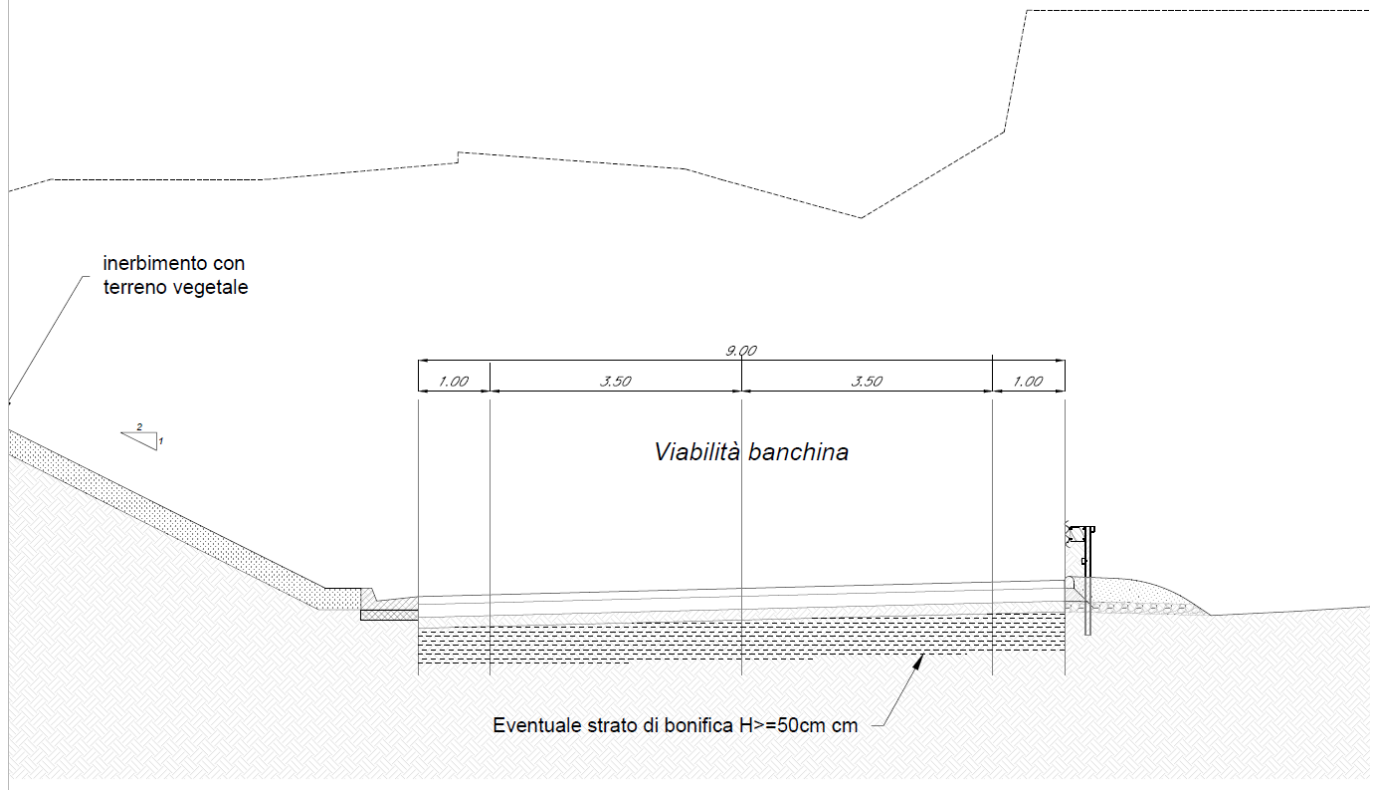
Si riportano di seguito i valori caratteristici dei parametri geotecnici per le verifiche degli elementi strutturali e delle opere geotecniche:

**Tabella 6: sintesi dei parametri geotecnici ottenuti tramite le elaborazioni delle prove.**

Unità Geotecniche		Parametri						
		z	$\gamma$	c'	$\varphi'$	Cu	E'	k
Unità	Unità Geologica	m	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	kPa	MPa	m/s
R	h - Riporti antropici	0 - 5.0	20	-	28	-	10	1E-5 ÷ 1E-6
	b2 - Coltri eluvio-colluviali							
	ba1 - Depositi alluvionali attuali							
	bb2 - Depositi alluvionali recenti							
	g2 - Depositi di spiaggia attuali							
UG1	LEI2 - Sintema Lentini	5.0 - 15	19-20	5-10	20-24	80-120	10-15	1E-6 ÷ 1E-8
	LEI2 - Sintema Lentini	15 - 40	19-20	10-15	20-24	120-170	20-25	1E-6 ÷ 1E-8

## 8 SEZIONE DI ANALISI

La sezione selezionata è tracciata in corrispondenza della pk 0+450, costituita da una pendenza 1:2 e altezza massima 3.7m. Il modello geologico/geotecnico si è ottenuto per estrapolazione stratigrafica in coerenza con le informazioni geotecniche disponibili dalla recente campagna indagine (ITALFER 2022).



## 9 METODOLOGIA DI VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLE SCARPATE STRADALI

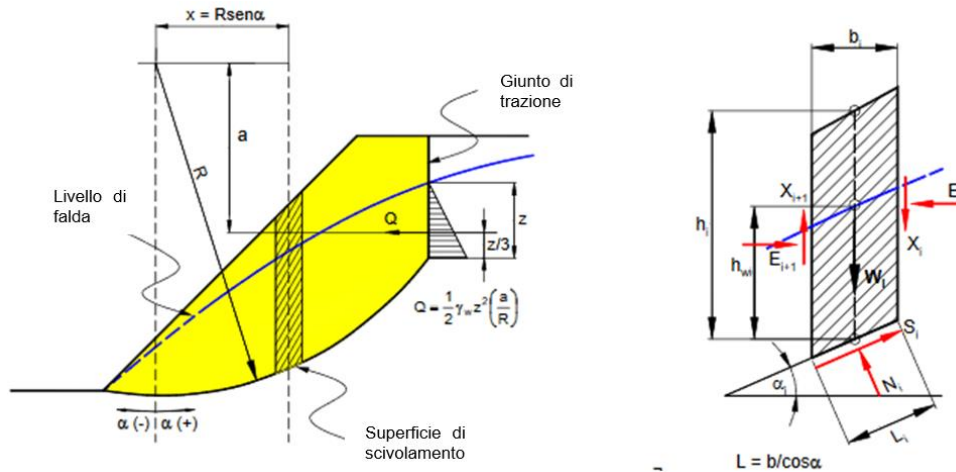
### 9.1 APPROCCIO DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità per le scarpate dei rilevati stradali sono state svolte in condizioni statiche e sismiche, utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite.

La valutazione del rapporto tra resistenza di progetto ( $R_d$ ) ed azione di progetto ( $E_d$ ) si basa sullo studio delle condizioni di equilibrio degli elementi (*strisce*) in cui può essere suddiviso il volume potenzialmente instabile, limitato inferiormente dalla superficie di potenziale scivolamento.

I metodi delle strisce assumono:

1. condizioni di deformazioni piane;
2. superfici di potenziale scivolamento circolari o a geometria complessa.



**Figure 9-1 – Condizioni generali di equilibrio limite**

In linea generale tutti i metodi che specializzano l'analisi limite utilizzano superfici di scivolamento circolari nel caso di sottosuoli in cui non è già definita una superficie di scivolamento pregressa o particolari geometrie delle discontinuità.

Nel caso specifico, le analisi sono state condotte con 3 metodi, confrontando le superfici individuate, ed assumendo, come rappresentativa, quella a cui corrisponde il minimo fattore di sicurezza.

I metodi utilizzati sono:

- GLE - Morgenstern and Price (1965);
- Bishop semplificato (1955);
- Janbu corretto (1973).

Nelle analisi sono state tralasciate le superfici corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea un'analisi convenzionale all'equilibrio limite.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>  <b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
	RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A

## 9.2 VERIFICHE DI SICUREZZA ALLO SLU SECONDO LA NORMATIVA TECNICA NAZIONALE

In accordo alla normativa di riferimento, per le opere in materiali sciolti, le **verifiche di stabilità in condizioni statiche** vengono condotte secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (DA1-C2):

$$A2 + M2 + R2.$$

Nelle seguenti tabelle si specificano i valori dei coefficienti parziali da attribuire ai carichi nominali, ai materiali geotecnici e alle resistenze:

**Tabella 9-1 – Coefficienti parziali per le combinazioni di carico agli SLU (paragrafo 6.2.4.1.1, NTC 2018)**

**Tab. 6.2.I** – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni


	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tabella 9-2 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (paragrafo 6.2.4.1.1, NTC 2018)**

**Tab. 6.2.II** – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>  <b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
	RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A

**Tabella 9-3 – Coefficiente parziale di resistenza globale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (paragrafo 6.8.2, NTC 2018)**

*Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo*

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Le **verifiche di stabilità condizioni sismiche** sono condotte considerando la stessa combinazione adottata in caso statico (DA1-C2), ma assumendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e quelli di riduzione dei parametri di resistenza (paragrafo 7.11.1 NTC18). Il coefficiente di riduzione delle resistenze è  $\gamma_R = 1.2$

Le verifiche di stabilità in condizione sismica sono state eseguite applicando **l'approccio pseudo-statico**. Esso simula l'azione sismica attraverso azioni inerziali ( $F_h$ ,  $F_v$ ) date dalle seguenti relazioni:

- $F_h = \gamma \cdot k_h$  (forza orizzontale per unità di volume);
- $F_v = \gamma \cdot k_v$  (forza verticale per unità di volume)

dove:

$\gamma$  è il peso dell'unità di volume e  $K_h$  e  $K_v$  sono i coefficienti sismici per la definizione dell'azione inerziale, dati dalle formulazioni seguenti:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

in cui  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione, funzione dell'accelerazione massima attesa e della categoria del sottosuolo, assunto pari a 0.38 per i **fronti di scavo**, secondo le prescrizioni di norma (paragrafo 7.11.4. NTC2018) ed  $a_{max}/g$  è accelerazione massima al suolo:

$$a_{max} = a_g \cdot S_s \cdot S_T$$

con  $S_s$  e  $S_T$  rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b>					
	<b>BY-PASS FERROVIARIO DI AUGUSTA SULLA TRATTA CATANIA-SIRACUSA</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE	COMMESSA RS62	LOTTO 00	CODIFICA R11RG	DOCUMENTO GE0006002	REV. A	FOGLIO 24 di 25

**Tabella 9-4 – Coefficienti pseudostatici per la definizione dell'azione inerziale equivalente in condizioni sismiche**

$a_{max}$	$k_h$	$k_v$
0.371	0.14	0.07

## 10 VERIFICHE DI STABILITÀ

### 10.1 MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO

Il modello geotecnico implementato nelle analisi è indicato nella seguente tabella:

**Tabella 10-1 – Parametri geotecnici caratteristici dei materiali**

Unità geotecnica	$\gamma_n$	$\varphi'$	$c'$	$c_u$	$\varphi'_d$	$c'_d$	$c_{u,d}$
	[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]	[kPa]	[°]	[kPa]	[kPa]
R	20	28	-	-	23	-	-
UG1	20	20	10	100	16	8.0	71

### 10.2 RISULTATI

Nelle seguenti figure sono rappresentati i risultati delle verifiche di stabilità per la scarpata in esame. La scarpata verifica i requisiti di sicurezza previsti dalla norma.



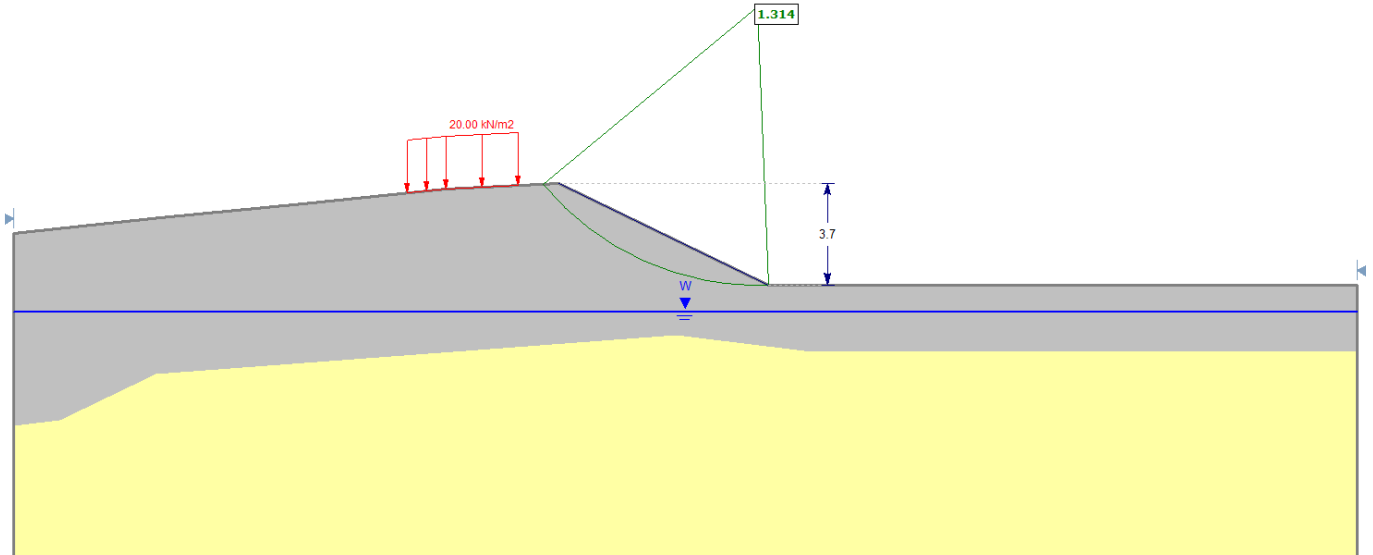


Figure 10-1 – Risultati della verifica di stabilità in condizioni statiche ( $R_d/E_d = 1.31 > 1.1$ )

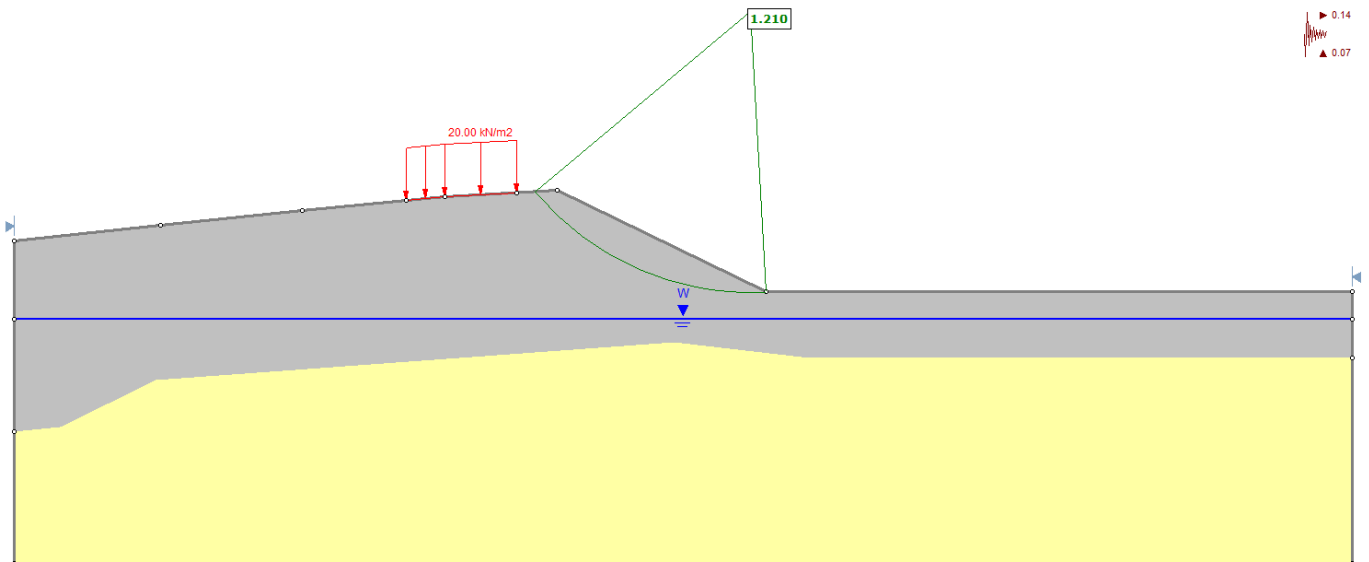


Figure 10-2 – Risultati della verifica di stabilità in condizioni sismiche ( $R_d/E_d = 1.21 > 1.2$ )