

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:	PROGETTISTA:	DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE
RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI 	Ing. FEDERICO DURASTANTI	Ing. PIETRO MAZZOLI Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

## PROGETTO ESECUTIVO

### ITINERARIO NAPOLI-BARI

### RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO

### 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO-FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE DI MADDALONI

### GEOTECNICA

Cancello – Frasso T. – Relazione di Calcolo Rilevati ferr. dal km 9+119 al km 10+327

APPALTATORE	SCALA:
Consorzio CFT IL DIRETTORE TECNICO Geom. C. BIANCHI 22-09-2018	-

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

IF1N 01 E ZZ CL GE0005 004 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	E.Sellari	10-07-2018	F.Durastanti	10-07-2018	P. Mazzoli	10-07-2018	F.Durastanti
B	Rev. Istruttoria ITF 07/09/18	E.Sellari	22-09-2018	F.Durastanti	22-09-2018	P. Mazzoli	22-09-2018	
								22-09-2018

File: IF1N.0.1.E.ZZ.CL.GE.00.0.5.004.B n. Elab.:

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>2 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	2 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	2 di 31								

## Indice

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>5</b>
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	5
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	5
<b>3</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE .....</b>	<b>6</b>
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA .....	6
3.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI .....	6
3.2.1	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	6
3.2.2	STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	10
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI .....	10
3.3.1	STATI LIMITE DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE SISMICHE.....	10
3.3.2	STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	12
3.3.3	STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	13
<b>4</b>	<b>AZIONE SISMICA DI PROGETTO .....</b>	<b>14</b>
4.1	COMPONENTI DELL'ACCELERAZIONE EQUIVALENTE .....	15
4.1.1	COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE .....	15
<b>5</b>	<b>CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA .....</b>	<b>17</b>
5.1	METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE.....	17
5.1.1	VERIFICHE DI STABILITÀ.....	17
5.1.2	VALUTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI .....	17
<b>6</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE FERROVIARIO .....</b>	<b>19</b>
6.1	INQUADRAMENTO GENERALE .....	19
6.2	DESCRIZIONE DEI TRATTI IN RILEVATO .....	19
6.3	MATERIALI .....	20
6.4	CARICHI DI PROGETTO .....	20
<b>7</b>	<b>DATI GEOTECNICI DI CALCOLO.....</b>	<b>22</b>

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>3 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	3 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	3 di 31								

<b>8</b>	<b>VERIFICHE RILEVATO TIPOLOGICO H=9.1M .....</b>	<b>23</b>
8.1	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE .....	23
8.2	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE .....	23
8.3	VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE .....	23
8.4	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	27
8.5	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI INDOTTI SUL RILEVATO ESISTENTE.....	30
<b>9</b>	<b>ALLEGATO.....</b>	<b>31</b>

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>4 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	4 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	4 di 31								

# 1 INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche, ai sensi della Normativa vigente (Documenti di Riferimento 8 e 9 del paragrafo 2.2), relative alle sezioni caratteristiche dei tratti in rilevato della sede ferroviaria della tratta Cancello – Benevento, I Lotto Funzionale Cancello – Frasso Telesino, nel tratto tra il km 13+609 ed il km 14+415.

Il documento è così articolato:

Nel Cap. 2 si riportano i documenti di riferimento e la normativa citati nel testo.

Nel Cap. 3 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente.

Nel Cap. 4 si definisce l'azione sismica di progetto.

Nel Cap. 5 si descrivono le metodologie di verifica adottate.

Nel Cap. 6 si riporta la descrizione del corpo ferroviario in esame da un punto di vista geometrico, con i criteri per l'individuazione delle sezioni caratteristiche, le caratteristiche geotecniche dei materiali e i sovraccarichi presenti.

Nel Cap. 7 si riportano i dati geotecnici di calcolo in termini di stratigrafia e parametri.

Nel Cap.8 sono invece riportate le descrizioni delle verifiche condotte e i risultati ottenuti per ciascuna sezione caratteristica.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>5 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	5 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	5 di 31								

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

1. Progetto Esecutivo – Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto – (Doc. Rif. - IF1N.0.1.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001.A);
2. Progetto Esecutivo – Relazione tecnico-descrittiva - Criteri di dimensionamento e verifica fondazioni superficiali e profonde – (Doc. Rif. - IF1N.0.1.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.001.A);
3. Progetto Esecutivo – Relazione tecnico-descrittiva – Criteri di dimensionamento e verifica opere di sostegno – (Doc. Rif. - IF1N.0.1.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.002.A);
4. Progetto Esecutivo – Relazione tecnico-descrittiva. Criteri di dimensionamento e verifica di rilevati e trincee – (Doc. Rif. – IF1N.0.1.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.003.A);
5. Progetto Esecutivo – Monitoraggio rilevati – Relazione tecnico – descrittiva – (Doc. Rif. - IF1N.0.1.E.ZZ.RO.GE.00.0.5.004.A);
6. Progetto Esecutivo – Sezioni tipo Monitoraggio rilevati – (Doc. Rif. - IF1N.0.1.E.ZZ.WZ.GE.00.0.5.002.A).

### 2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

7. Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
8. Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 Gennaio 2008.
9. UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
10. UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
11. RFI DTC INC PO SP IFS 001 A del 21.12.2011- Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario;
12. RFI DTC INC CS SP IFS 001 A del 21.12.2011 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie;
13. RFI DTC SICS SP IFS 001 B del 24.12.2015 - Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
14. 1299/2014/UE Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea (18/11/2014).

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>6 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	6 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	6 di 31								

### 3 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

#### 3.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

Per le opere in esame devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. delle NTC2008):

Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);

Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 delle NTC2008})$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$ , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 delle NTC2008).

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 delle NTC2008})$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

$C_d$  = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito dal Progettista Strutturale).

La verifica della condizione  $E_d \leq C_d$  deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici..

#### 3.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI

In base a quanto indicato dalle NTC2008, le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

##### 3.2.1 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 delle NTC2008):

   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">GE0005 004</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">7 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	7 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	7 di 31								

Approccio 1:

Combinazione 2 : A2 + M2 + R2

tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.8), calcolata sulla base delle azioni di

progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ( $R = R \left[ \gamma_F \cdot F_k \cdot \frac{S_d}{\gamma_m} \cdot a_d \right]$ ).

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 5.2.3.3.1 del Doc Rif. 11 ed al p.to 2.3.3. dei Doc Rif. 12 e 11, per le verifiche agli Stati Limite Ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 1 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. 11) e i coefficienti di combinazione  $\psi$  in Tab. 5.2.VI.

		Coefficiente	EQU <sup>1</sup>	A1 STR	A2 GEO	Comb. eccezionale	Comb. Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	Y <sub>G1</sub>	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>2</sup>	favorevoli	Y <sub>G2</sub>	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>3</sup>	favorevoli	Y <sub>B</sub>	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>4</sup>	favorevoli	Y <sub>Q</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>5</sup>	0,20 <sup>6</sup>
Carichi variabili	favorevoli	Y <sub>Qi</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	Y <sub>P</sub>	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole						

<sup>1</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>2</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>3</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

<sup>4</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico GR della tabella Tab. 5.2.IV del oc. Rif. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

<sup>5</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>8 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	8 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	8 di 31								

			1,00 <sup>6</sup>	1,00 <sup>7</sup>	1,00	1,00	1,00
--	--	--	-------------------	-------------------	------	------	------

**Tab. 1 – Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. 11)**

In Tab. 1 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. 11) il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$                    coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$                    coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_B$                      coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- $\gamma_Q$                     coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$                   coefficiente parziale delle azioni variabili.

<sup>6</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna.

<sup>7</sup> 1,20 per effetti locali.



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>9 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	9 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	9 di 31								

Azioni	Descrizione	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 <sup>8</sup>	0,80 <sup>9</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>9</sup>	0,80 <sup>10</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>9</sup>	0,80 <sup>10</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>10</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,00	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

**Tab. 2 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif.11)**

Azioni	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$	
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 <sup>10</sup>	1 <sup>11</sup>	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 <sup>11</sup>	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 <sup>11</sup>	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 <sup>11</sup>	-	-
	Centrifuga	1 <sup>13 11</sup>	1 <sup>12</sup>	1 <sup>13</sup>
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 <sup>11</sup>	0,80	0,0

**Tab. 3 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni (Tab. 5.2.VII del Doc. Rif. 11)**

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	1.0	1.0

<sup>8</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,00.

<sup>9</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari, e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>10</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,00.

<sup>11</sup> 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

<sup>12</sup> Si usano gli stessi coefficienti  $\psi$  adottati per i carichi che provocano dette azioni

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>10 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	10 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	10 di 31								

**Tab. 4 – Coefficienti parziali sui parametri del terreno (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, Doc. Rif.7)**

Coefficiente parziale	(R2)
$\gamma_R$	1.1

**Tab. 5 – Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif.7)**

### 3.2.2 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici (Par. 6.5.3.2 delle NTC2008), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

Sarà a carico del Progettista Strutturale definire valori di spostamenti/rotazioni corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio ( $s_{SLE}$  e  $\theta_{SLE}$ ) delle strutture da confrontarsi con quelli calcolati in fondazione.

Deve essere tenuto presente che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli Stati Limite Ultimi.

## 3.3 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI

### 3.3.1 STATI LIMITE DI RIFERIMENTO PER LE VERIFICHE SISMICHE

Le NTC2008 (Doc. Rif. 7) stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera, mediante l'identificazione della Classe d'Uso, e poi in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite. In particolare si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 delle NTC2008:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):**
  - Stato Limite di immediata Operatività **SLO** per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
  - Stato Limite di Danno **SLD** definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
  - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui 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 orizzontali.
  - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

La Tab. 6 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.1.I del Doc. Rif.8).

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>11 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	11 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	11 di 31								

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.8, le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

Stato Limite Ultimo: **SLV** – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{VR} = 10\%$  nel periodo  $V_r$ );

Stato Limite Esercizio: **SLD** – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{VR} = 63\%$  nel periodo  $V_r$ ).

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento  $V_r$  per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">GE0005 004</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">12 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	12 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	12 di 31								

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso			
		I	II	III	IV
SLO	Contenimento del danno degli elementi non strutturali			X	X
	Funzionalità degli impianti			X	X
SLD	Resistenza degli elementi strutturali			X	X
	Contenimento del danno degli elementi non strutturali	X	X		
	Contenimento delle deformazioni del sistema fondazione-terreno	X	X	X	X
	Contenimento degli spostamenti permanenti dei muri di sostegno	X	X	X	X
SLV	Assenza di martellamento tra strutture contigue	X	X	X	X
	Resistenza delle strutture	X	X	X	X
	Duttilità delle strutture	X	X	X	X
	Assenza di collasso fragile ed espulsione di elementi non strutturali	X	X	X	X
	Resistenza dei sostegni e collegamenti degli impianti	X	X	X	X
	Stabilità del sito	X	X	X	X
	Stabilità dei fronti di scavo e dei rilevati	X	X	X	X
	Resistenza del sistema terreno-fondazione	X	X	X	X
	Stabilità del muro di sostegno	X	X	X	X
	Stabilità delle paratie	X	X	X	X
Resistenza e stabilità dei sistemi di contrasto e degli ancoraggi	X	X	X	X	
SLC	Resistenza dei dispositivi di vincolo temporaneo tra costruzioni isolate	X	X	X	X
	Capacità di spostamento degli isolatori	X	X	X	X

**Tab. 6 – Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.1.I, Doc. Rif.8)**

### 3.3.2 STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tab. 6). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche dei opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2.

Approccio 1:

Combinazione 2 :A2 + M2 + R2

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>13 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	13 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	13 di 31								

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati di Tab. 4 e Tab. 5 e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno (vedasi Par.7.11.1 delle NTC2008).

Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al Par. 7.11.6.3.11 delle NTC2008 le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

### 3.3.3 STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali, che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Tab. 6). Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (**SLD**).

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>14 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	14 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	14 di 31								

## 4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La definizione dell'azione sismica di progetto per le opere afferenti il tracciato è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione in oggetto (D.M. 14 Gennaio 2008. Norme Tecniche per le Costruzioni. Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159).

In particolare, l'azione sismica in base alla quale è stato verificato il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto, è stata definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione  $S_e(T)$  "ancorato" al valore di  $a_g$ , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$  per la vita utile della struttura.

In particolare si sono considerati una vita nominale dell'opera  $V_N$  pari a 75 anni ed un coefficiente d'uso pari a 1.5. Pertanto la vita di riferimento dell'opera  $V_R$  risulta pari a 112.5 anni.

Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite di verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima su 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.

Si è quindi proceduto alla definizione del periodo di riferimento per l'azione sismica, sulla base della classificazione delle opere in progetto, e successivamente sono stati definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica per suolo rigido in corrispondenza dei punti di interesse collocati lungo il tracciato.

La determinazione della categoria di suolo (e topografica) è stata eseguita attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche condotte per il Progetto Preliminare e Definitivo: sulla base delle informazioni disponibili, ai fini della microzonazione, tutta il tracciato risulta sostanzialmente omogeneo dal punto di vista delle caratteristiche geodinamiche e caratterizzabile, ai fini normativi, come sito di **Categoria B** ossia "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $C_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)".

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2008, attraverso l'impiego di un fattore di sito  $S$  funzione sia della categoria di sottosuolo ( $S_s$ ) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica ( $S_T$ ):

$$S = S_s \cdot S_T.$$

Per la **Categoria di Sottosuolo B**, il coefficiente  $S_s$  si ottiene dall'espressione seguente (vedi Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC2008):

$$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$$

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>15 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	15 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	15 di 31								

Per quanto riguarda l'eventuale amplificazione topografica, considerato che il tracciato attraversa zone in parte pianeggianti e in parte collinari - rilevate, il fattore di amplificazione topografica è stato assunto pari a 1.1, valore intermedio tra  $S_T$  pari a 1.0 e pari a 1.2.

Nella Tab. 7 sono riportati il valore dell'accelerazione  $a_g$ [g] atteso in condizioni di campo libero su suolo rigido, con i coefficienti  $S_s$  ed  $S_t$  relativi e il corrispondente valore di  $a_{max}$ [g], in corrispondenza dello stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

$a_g$ [g]	$S_s$	$S_t$	$a_{max}$ [g]
0.193	1.200	1.1	0.255

**Tab. 7 – Parametri per la valutazione dell'azione sismica**

Tali parametri sono stati determinati attraverso il foglio di calcolo Excel Spettri-NTCver.1.0.3. del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici sulla base delle seguenti coordinate geografiche:

Longitudine (ED50): 14.43211;

Latitudine (ED50): 41.09488

A partire dai valori sopra riportati risulta:

$$a_{max} [g] = S a_g [g] = 0.193 \cdot 1.200 \cdot 1.1 = 0.255.$$

## 4.1 COMPONENTI DELL'ACCELERAZIONE EQUIVALENTE

Come definito in normativa, a meno di specifiche analisi dinamiche, è possibile svolgere le verifiche di sicurezza mediante analisi pseudostatiche o analisi agli spostamenti.

### 4.1.1 COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto nell'esempio di calcolo riportato al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. 8, la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 delle NTC2008, inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 delle NTC2008, in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

- $k_h = \beta_s a_{max}$
- $k_v = \pm k_h / 2$

essendo

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Tab. 8).

Per la **Categoria di Sottosuolo B**, il coefficiente  $\beta_s$  da assumere è pari a 0.24 essendo il parametro  $a_g$ [g] tale che  $0.1 < a_g(g) = 0.193 < 0.2$ .

	<b>Categoria di Sottosuolo</b>
--	--------------------------------

   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>16 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	16 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	16 di 31								

	<b>A</b>	<b>B,C,D,E</b>
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g(g) < 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) < 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) < 0.1$	0.20	0.20

**Tab. 8 – Coefficiente  $\beta_s$**

Con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita, in accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale (Tab. 9):

<b>STATO LIMITE</b>	<b>T<sub>R</sub></b>	<b>k<sub>h</sub></b>	<b>k<sub>v</sub></b>
	<b>[anni]</b>	<b>[g]</b>	<b>[g]</b>
SLV	1068	0.061	± 0.031

**Tab. 9 – Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale**



	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>17 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	17 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	17 di 31								

## 5 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

### 5.1 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE

#### 5.1.1 VERIFICHE DI STABILITÀ

Il modulo VSP del software di calcolo ParatiePlus è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) costituenti le verifiche SLU richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Il modulo VSP prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

- Bishop semplificato;
- Janbu semplificato;
- Morgenstern & Price.

Tutti questi metodi, appartenenti alla famiglia dei metodi dell'equilibrio limite, si basano sull'individuazione di una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento.

Il coefficiente di sicurezza associato ad una superficie è calcolato imponendo le condizioni di equilibrio nelle quali vengono introdotte le resistenze offerte dal terreno affette da tale coefficiente di sicurezza.

Variando secondo diversi criteri la superficie di scorrimento, è possibile determinare la configurazione associata al coefficiente di sicurezza minimo.

Tutti i metodi suddividono la regione di terreno mobilitata in conci (slices) verticali compresi tra il piano campagna e la superficie di scorrimento e impongono le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne tra i conci) superano le equazioni disponibili.

In questa sede si è scelto di impiegare il metodo di Bishop semplificato il quale assume che i vari conci si scambino azioni solo normali alla facce, vale a dire azioni orizzontali; esso, inoltre, richiede che la superficie di scivolamento sia un arco di cerchio e determina il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione dell'ammasso intorno al centro della circonferenza.

Al fine di individuare la superficie di rottura associata al coefficiente di sicurezza minimo il modulo VSP consente di adottare vari criteri. Dal momento che l'interesse è rivolto alla ricerca di superficie che interessino la sede ferroviaria, si è scelto di utilizzare il criterio secondo il quale tali superficie siano costituite da archi di cerchio entranti ed uscenti da posizioni note.

Per le analisi in condizioni sismiche sono stati adottati i parametri riportati al paragrafo 4 cui si rimanda.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti e che comunque non interessano la sede ferroviaria.

#### 5.1.2 VALUTAZIONE DEGLI SPOSTAMENTI

  	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>18 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	18 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	18 di 31								

La valutazione dell'ordine di grandezza dei cedimenti attesi sotto i carichi di esercizio è stato effettuato attraverso il codice di calcolo Plaxis 2D.

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti (sviluppato dalla Delft University of Technology) bidimensionale in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

È utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axysymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti distinguendo tra calcoli di tipo plastico (plastic), analisi di consolidazione (consolidation), analisi di stabilità con il metodo della riduzione dei parametri di resistenza ( $\phi - c$  reduction) e analisi dinamiche (dynamic). La versione del software utilizzata per le analisi condotte nel presente documento è Plaxis 2D 2018.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>19 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	19 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	19 di 31								

## 6 CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE FERROVIARIO

### 6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Lungo la Linea ferroviaria Napoli – Bari, nel tratto compreso tra Cancello e Frasso Telesino e nella variante alla Linea Roma – Napoli via Cassino, nel Comune di Maddaloni, il corpo stradale ferroviario si sviluppa, nei tratti all'aperto, principalmente in rilevato ed per una porzione ridotta in trincea.

Le linee in esame sono state suddivise in tratte omogenee per stratigrafia, per le quali sono stati adottati i profili ed i parametri geotecnici di progetto così come definiti nella "Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto" (IF1N.0.1.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001.A), da utilizzarsi per le verifiche geotecniche dei rilevati oggetto del presente documento.

Per ciascun tratto omogeneo sono poi state individuate le altezze caratteristiche di rilevato che hanno permesso di definire le sezioni di verifica.

Oggetto del presente documento è il tratto compreso tra le km 9+1199 ed il km 10+327.

Tale tratto prevede la realizzazione di rilevati con altezza (distanza PF e PC) massima pari a 9.1 m. Per altezza (distanza PF e PC) del rilevato si intende la distanza tra Piano del Ferro (PF) e piano campagna (PC).

Nel seguito sono riportate le verifiche relative al rilevato tipologico di altezza (distanza PF e PC) massima.

### 6.2 DESCRIZIONE DEI TRATTI IN RILEVATO

Per quanto riguarda la geometria dei rilevati, si è fatto riferimento agli elaborati di progetto ad essi relativi ed in particolare alle sezioni trasversali, tipologiche e correnti.

In particolare, i rilevati sono previsto con pendenza 3H:2V, con banche di altezza massima pari a circa 6 m, intervallate da berme di larghezza pari a circa 2 m. Al di sotto del rilevato è stato previsto uno scotico e bonifico per uno spessore pari a 1.0 m. Per le scarpate è stata ipotizzata una finitura a verde. Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di super compattato di spessore pari a 30 cm, al di sopra del quale verrà realizzato uno strato di sub-ballast di spessore pari a 12 cm.

Una volta così completato il corpo del rilevato si posizioneranno ballast, traversine ed armamento ferroviario.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF1N</td> <td style="text-align: center;">01 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">GE0005 004</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">20 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	20 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	20 di 31								

## 6.3 MATERIALI

Il materiale costituente il corpo del rilevato è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m<sup>3</sup>, un angolo di attrito caratteristico  $\phi'_k$  pari a 38° e coesione efficace  $c'_k$  nulla.

Lo strato di materiale super compattato, di spessore pari a 30 cm, è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m<sup>3</sup>, un angolo di attrito caratteristico  $\phi'_k$  pari a 42° e coesione efficace  $c'_k$  nulla, mentre lo strato di sub-ballast, di spessore pari a 12 cm, è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m<sup>3</sup>, angolo di attrito caratteristico  $\phi'_k$  pari a 38° e coesione efficace  $c'_k$  pari a 100 kPa.

Per l'inerbimento superficiale delle scarpate si è considerato uno strato di spessore pari a 30 cm caratterizzato da un peso specifico pari a 19 kN/m<sup>3</sup>, un angolo di attrito caratteristico  $\phi'_k$  pari a 32° e coesione efficace  $c'_k$  pari a 10 kPa.

Una sintesi dei parametri geotecnici di calcolo per i materiali antropici è riportata nella successiva Tabella.

Il terreno in sito è stato caratterizzato in accordo a quanto definito nella "Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto" (IF1N.0.1.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001.A).

strato	Spessore	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio			Coesione efficace/coesione non drenata			Modulo di Young operativo	Permeabilità
	m	$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$ (M1)	$\phi'_d$ (M2)	(1) $c'_k$	(1) $c'_d$	(1) $c'_d$	$E_{op}$	k
		kN/m <sup>3</sup>	°	°	°	(2) $c_{uk}$	(2) $c_{ud}$ (M1)	(2) $c_{ud}$ (M2)		
SUB-BALLAST	0.12	20	38	38	32.0	100	100	80	400 - 500	1·10 <sup>-9</sup>
SUPERCOMPATTATO	0.30	20	42	42	35.8	0	0	0	60	1·10 <sup>-9</sup>
INERBIMENTO	0.30	19	32	32	25.6	10	10	8	8	1·10 <sup>-5</sup>
RILEVATO	Variabile	20	38	38	32.0	0	0	0	30	1·10 <sup>-5</sup>
STRATO DI BONIFICO	1.00	19	38	38	32.0	0	0	0	15	1·10 <sup>-5</sup>

**Tabella 1 – Parametri geotecnici di calcolo – materiali antropici.**

## 6.4 CARICHI DI PROGETTO

I carichi di progetto considerati nelle analisi oggetto del presente documento sono i seguenti:

- carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie).
- sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario.
- carico da azione sismica.

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a 0.80 m con un peso pari a 18.00 kN/m<sup>3</sup>. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato sino ad una distanza pari a 0.65 m dai bordi, laddove l'armamento non è effettivamente presente.

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>21 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	21 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	21 di 31								

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. 11 per quanto riguarda il traffico normale (treno di carico LM71). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

- il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a 250 kN ad asse, con interasse pari a 1.6 m, (ossia  $250/1.6 = 156.25$  kN/m);
- per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.6 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 2.90 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia  $156.25/2.9 = 53.9$  kPa). In caso di doppio binario si sono considerate due fasce di larghezza pari a 2.90 m in corrispondenza delle due vie di corsa.

La pressione considerata è stata assunta, pertanto, pari a 54 kPa, da amplificarsi, sempre in base a quanto indicato dal Doc. Rif. 11, con un coefficiente  $\alpha$  pari a 1.1. Il valore di pressione risultante è, pertanto, pari a 59.4 kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al paragrafo 4 del presente documento.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche) e agli SLE applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>22 di 31</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	22 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	22 di 31								

## 7 DATI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella “Relazione geotecnica generale di linea delle opere all'aperto” (IF1N.0.1.E.ZZ.RB.GE.00.0.5.001.A), e sulla base di quanto descritto nel Capitolo 3, nella Tab. 10 sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M1 e M2 contenuti nella Tab. 4 della presente relazione.

La stratigrafia riportata fa riferimento al tratto compreso tra le pk 9+119 e pk 10+327.

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif.[4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico e sismico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli a 19 m dal piano campagna.

strato	profondità da m da pc	profondità a m da pc	peso di volume kN/m <sup>3</sup>	angolo di resistenza al taglio			coesione efficace			modulo elastico operativo E <sub>op</sub> MPa	permeabil ità k m/s
				$\phi'_k$	$\phi'_d$ M1	$\phi'_d$ M2	$c'_k$	$c'_d$ M1	$c'_d$ M2		
				°	°	°	kPa	kPa	kPa		
Piroclastiti superficiali e coltre eluvio – colluviale (CCU)	0	5	16.0	26	26	21.3	0	0	0	15	5·10 <sup>-6</sup>
Tufo Grigio Campano in facies litoide (TGCI)	5	14	13.5	35	35	29.3	20	20	16	200	1·10 <sup>-6</sup>
Tufo Grigio Campano in facies sciolta (TGCs)	14	28	15.5	33.5	33.5	27.9	0	0	0	40	5·10 <sup>-5</sup>
Cineriti, epivolcaniti e depositi lacustri a grana limo – argillosa (MDLb+c)	28	43	16.5	26.5	26.5	21.7	0	0	0	40	1·10 <sup>-7</sup>
Calcarei (CAL)	43	60	22.5	38	38	32	50	50	40	300	1·10 <sup>-4</sup>
QUOTA DELLA FALDA: 60 m s.l.m.											
CLASSE DI SUOLO: B											

**Tab. 10 – Parametri geotecnici di calcolo da pk 9+119 a pk 10+327 – Materiali in sito**

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>23 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	23 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	23 di 31								

## 8 VERIFICHE RILEVATO TIPOLOGICO H=9.1M

### 8.1 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il modulo VSP del software ParatiePlus 18.0. Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali A2 + M2 per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali A2 (=1) + M2 per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tab. 1 e nella Tab. 4 della presente relazione.

Come dalle NTC2008, la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione  $FS \geq R2 = 1.1$  è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tab. 5 della presente relazione.

### 8.2 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI STATICHE

L'analisi di stabilità globale in campo statico del rilevato tipologico con altezza (distanza PF e PC) pari a 9.1 m è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tab. 10.

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 59.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole e, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tab. 1; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

- $q_d = q_k \times \gamma_{Qi [A2]} = 59.4 \text{ kPa} \times 1.3 = 77.22 \text{ kPa}$ .

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Fig. 1 è riportata la superficie di rottura critica per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.378$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

**la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.**

### 8.3 VERIFICHE SLU IN CONDIZIONI SISMICHE

L'analisi di stabilità globale in campo sismico del rilevato tipologico con altezza (distanza PF e PC) pari a 9.1 m è stata condotta assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tab. 10.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>I° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>24 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	24 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	24 di 31								

$k_h = + 0.061$  (concorde alla direzione di scivolamento)

$k_v = \pm 0.031$  (verificando la più cautelativa tra negativo e positivo)

Il carico stradale (q), assunto pari a 59.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC2008 (vedasi Par.7.11.1 delle NTC2008 stesse) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di adottare l'Approccio 1 Combinazione 2 ponendo i coefficienti parziali sulle azioni (A2) tutti pari ad uno. Pertanto:

$q_d = q_k = 59.4 \text{ kPa}$ .

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita "critica", quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Fig. 2 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$FS^{\text{MIN}} = 1.216$

Essendo soddisfatta la relazione:

$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1$ ,

**g a verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.**



Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati  
ferr. dal km 9+119 al km 10+327

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	25 di 31

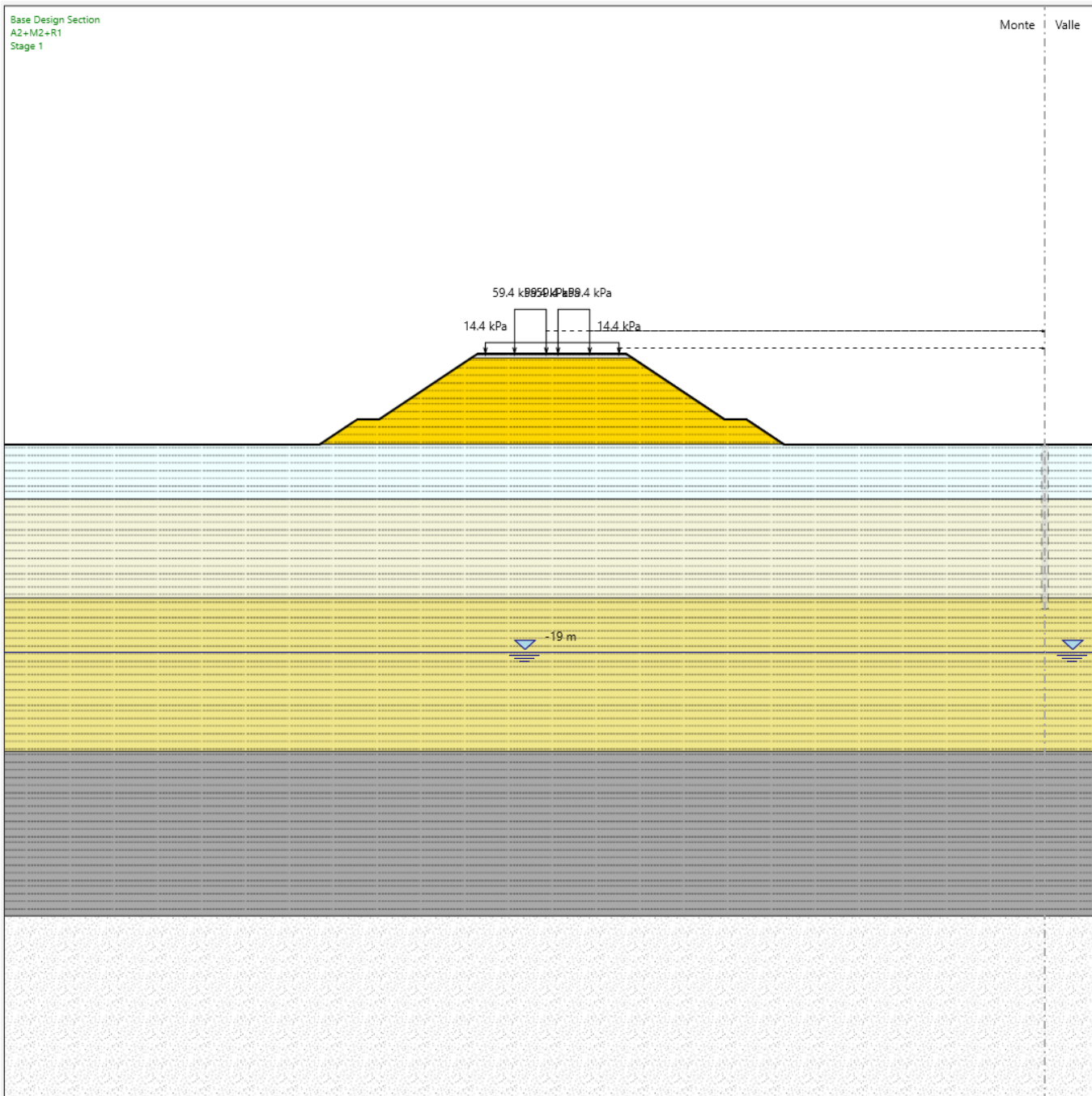


Fig. 1: Rilevato H (distanza PF e PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati  
ferr. dal km 9+119 al km 10+327

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	26 di 31

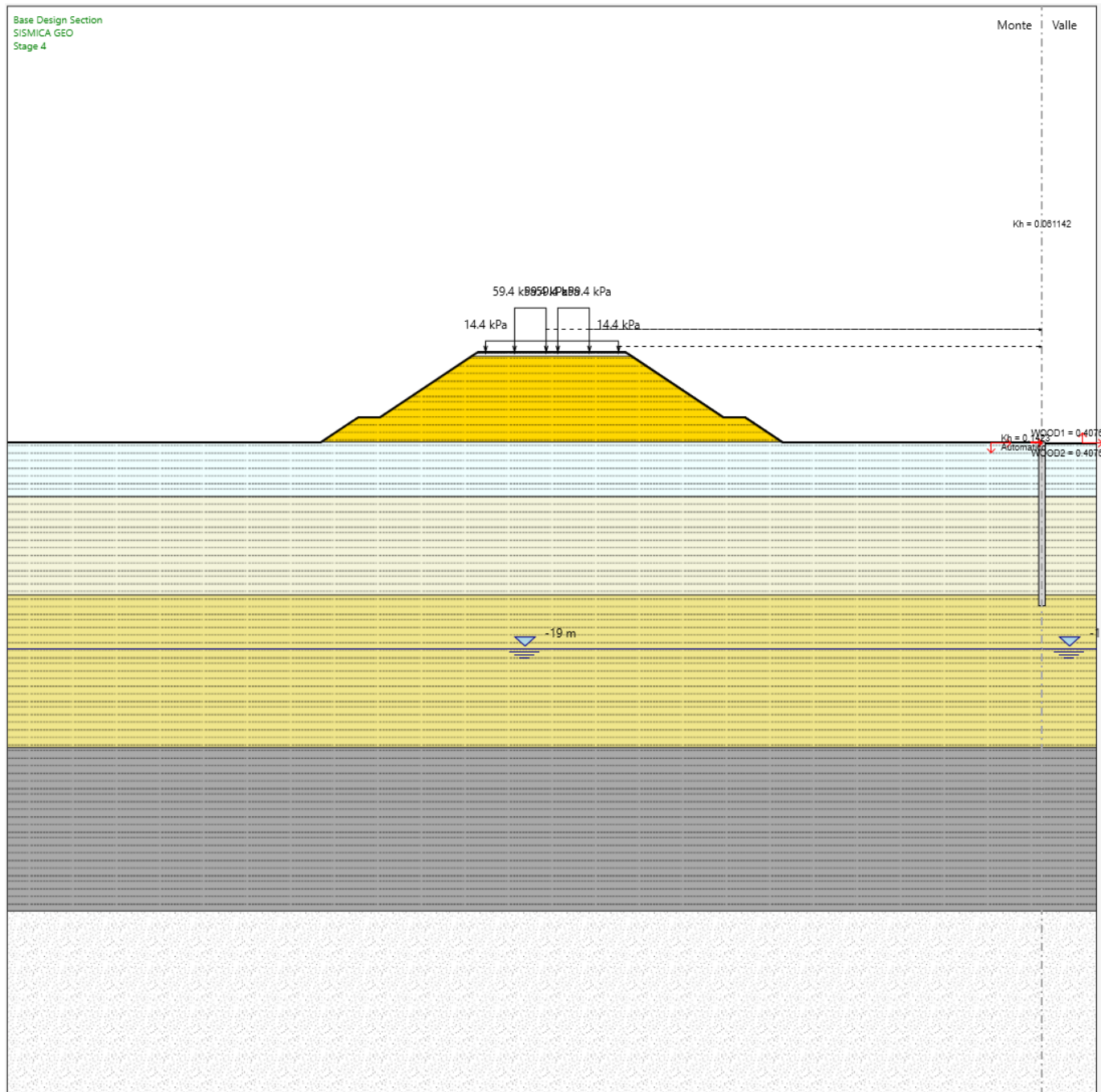


Fig. 2: Rilevato H (distanza PF e PC) = 9.1 m (pk 9+119 a pk 10+327) - Analisi di stabilità globale in campo sismico

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>27 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	27 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	27 di 31								

## 8.4 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

Come definito nel paragrafo 3, nell’ambito delle verifiche agli Stati Limite d’Esercizio, dev’essere verificata la seguente disequaglianza:

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif.7})$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell’effetto dell’azione, e  $C_d$  è il valore limite prescritto dell’effetto delle azioni.

Sulla base di quanto riportato sopra, le verifiche geotecniche sono pertanto volte ad identificare un campo di spostamenti/cedimenti.

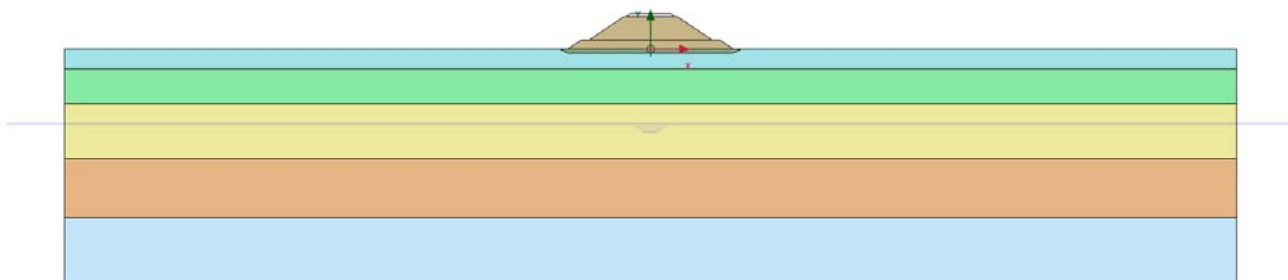
La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l’utilizzo di un foglio di calcolo che impiegaa la teroai dell’elasticità assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali. Tali parametri sono riportati in Tab. 10.

In tale analisi, non sono stati previsti carichi.

La storia di carico riprodotta, del tutto indicativa e non significativa per la valutazione del cedimento post – costruzione, è la seguente:

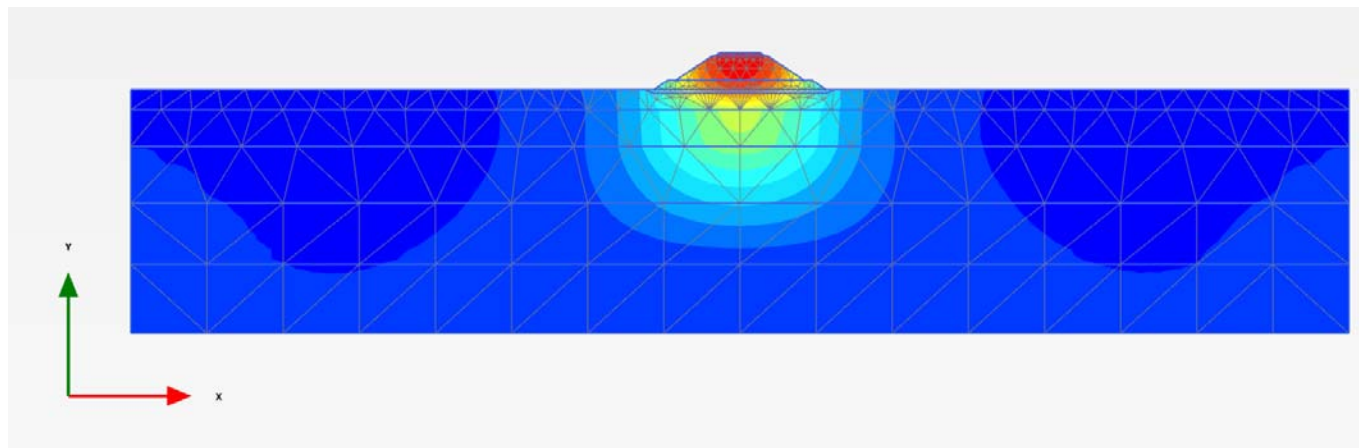
- Scavo: 5 giorni;
- Bonifico: 5 giorni;
- Costruzione rilevato, prima parte (fino alla berma intermedia): 30 giorni;
- Costruzione rilevato, seconda parte (fino all’altezza di progetto): 30 giorni;
- Armamento: 40 giorni;
- Monitoraggio cedimenti fino a 100 anni.

Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza (distanza PF – PC) pari a 9.1 m, valido tra le pk 9+119 e pk 10+327, è riportato nella Figura 1. La larghezza del rilevato è pari a 42.4 m ; l’altezza (distanza PF – PC) è pari a 9.1 m e la pendenza delle scarpate è 2V:3H.

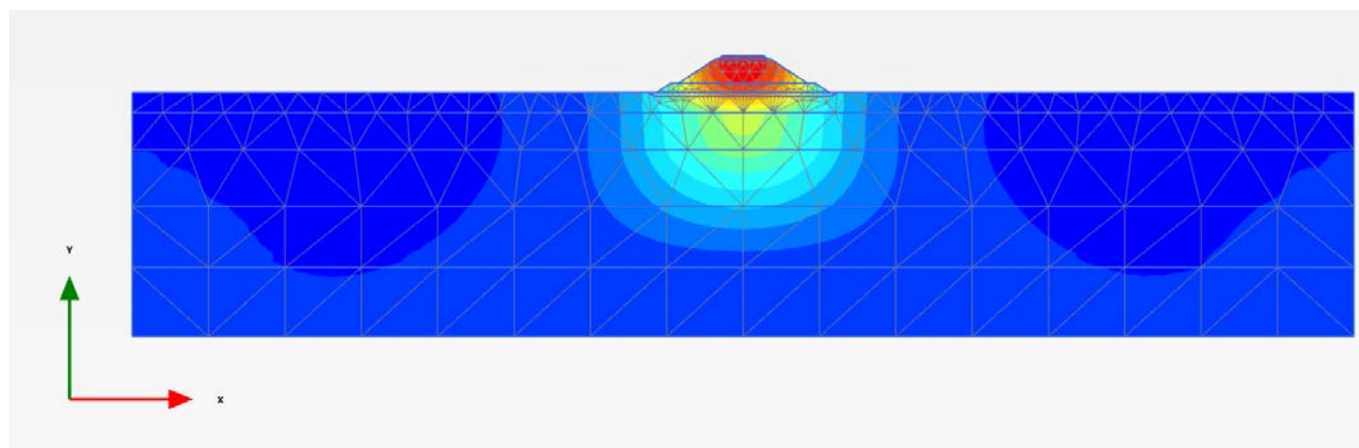


**Figura 1 – Rilevato H (distanza PF – PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) – Analisi SLE – Modello Plaxis 2D.**

	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>28 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	28 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	28 di 31								



**Figura 2 – Rilevato H (distanza PF – PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) – Analisi SLE – Campo dei cedimenti a 1 anno.**



**Figura 3 – Rilevato H (distanza PF – PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) – Analisi SLE – Campo dei cedimenti a 100 anni.**

In Figura 2 e in Figura 3 sono riportati il campo di dei cedimenti attesi rispettivamente a 1 anno e a 100 anni dall'inizio della costruzione. Il valore assoluto del cedimento in sommità al rilevato è pari a:

- 13.9 cm valore riferito a 100 anni dall'inizio della fase di costruzione del rilevato.

Come si può vedere i cedimenti attesi si dovrebbero esaurire completamente durante le fasi della costruzione e comunque prima della messa in esercizio della linea.

In Figura 4 sono riportati gli andamenti dei cedimenti per tre punti in asse al rilevato ritenuti significativi: il punto A in sommità al rilevato, il punto B a metà altezza del rilevato e il punto C alla base del rilevato. Come si evince dalla Figura il cedimento dovuto alla costruzione del rilevato e al successivo completamento della sede ferroviaria avviene quasi completamente durante le fasi di costruzione. L'aliquota di cedimento residua può considerarsi trascurabile e comunque esaurita entro circa 1 mese dalla fine della costruzione (terminata al 70° giorno dopo l'inizio della costruzione).

Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati  
ferr. dal km 9+119 al km 10+327

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	29 di 31

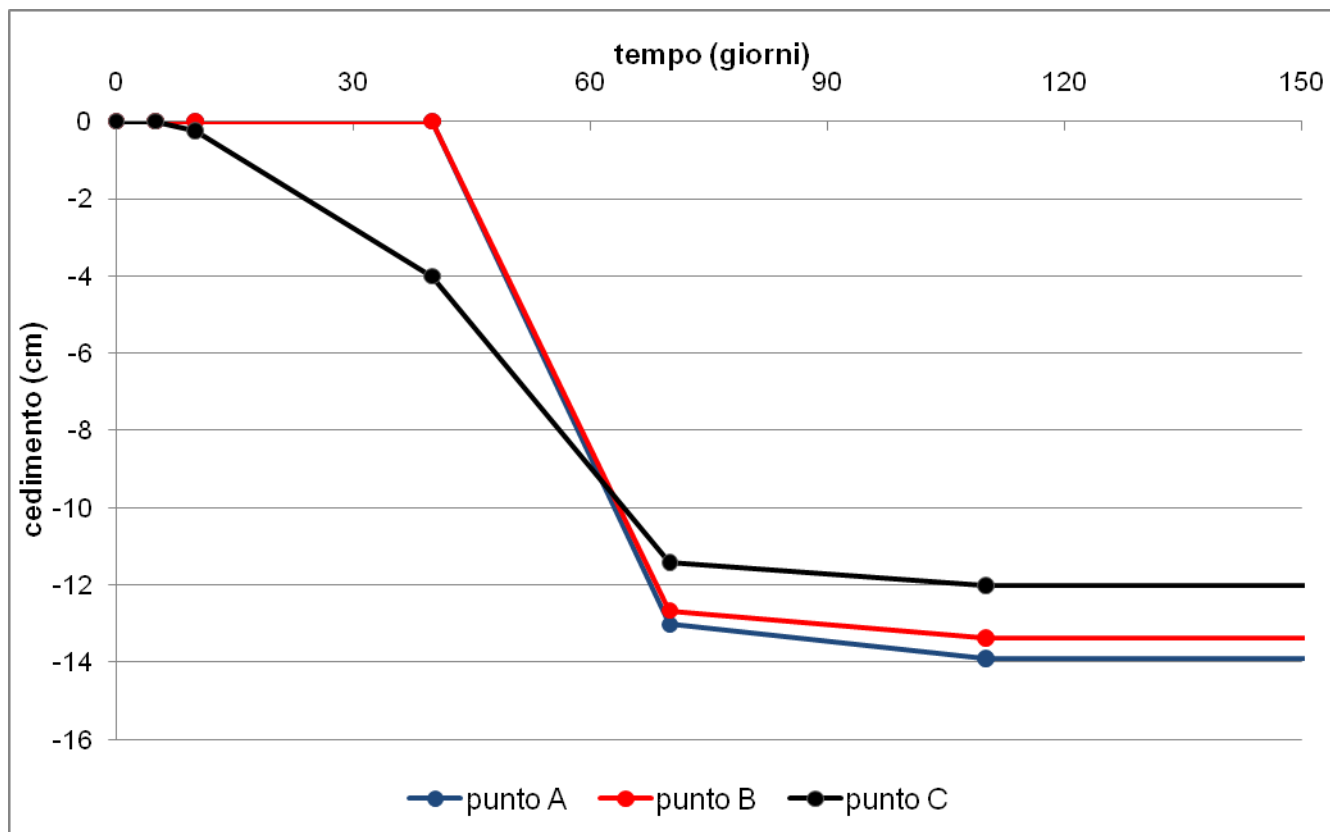


Figura 4 – Rilevato H (distanza PF – PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) – Analisi SLE – Curve cedimento – tempo.

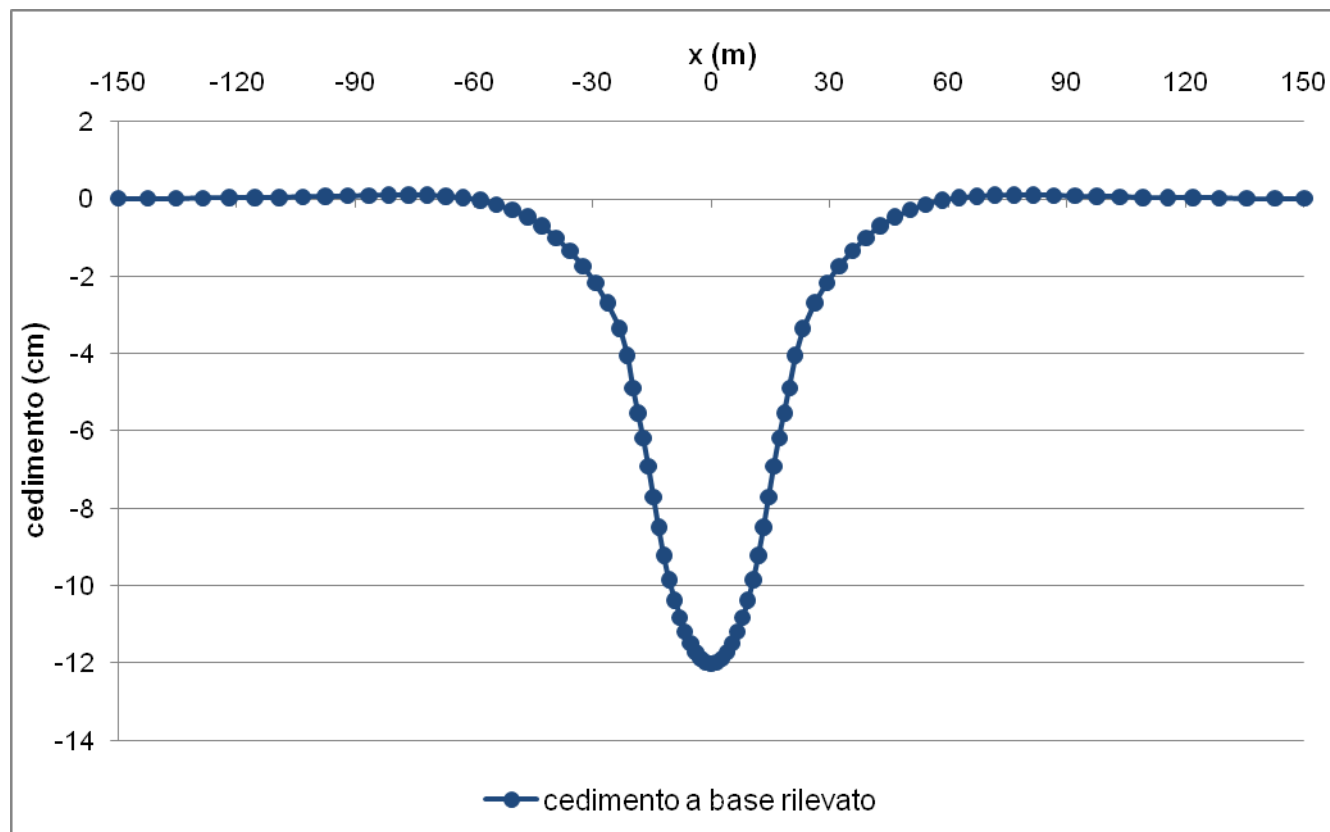


	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>30 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	30 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	30 di 31								

## 8.5 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI INDOTTI SUL RILEVATO ESISTENTE

La linea ferroviaria in progetto, per le progressive oggetto di questo elaborato, dista dalla linea esistente circa 75 m. Il cedimento indotto a fine costruzione ritenuto “ammissibile” sulla linea esistente a binario singolo (che verrà dismessa una volta che quella nuova a doppio binario entrerà in esercizio) si assume debba essere minore di 10 cm e tale da rispettare il valore dello sghembo di riferimento al fine di garantire la funzionalità e l’esercizio della linea.

Per il rilevato tipologico oggetto di questo documento, in Figura 5 si riporta l’andamento dei cedimenti stimati a fine costruzione al di sotto del rilevato (sezione trasversale al tracciato principale). Il cedimento indotto calcolato in corrispondenza della mezzzeria della linea esistente è pari a 0.1 cm.



**Figura 5 – Rilevato H (distanza PF – PC) = 9.1 m (da pk 9+119 a pk 10+327) – Analisi SLE – Cedimenti indotti sul rilevato esistente.**

Le attività di costruzione del rilevato in progetto per la tratta in esame sono compatibili, pertanto, con la funzionalità e l’esercizio della linea esistente essendo i cedimenti indotti calcolati in asse a quest’ultima minori del valore limite assunto (pari a 10 cm).

   	<b>ITINERARIO NAPOLI – BARI</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO – BENEVENTO</b> <b>1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO - FRASSO TELESINO E</b> <b>VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL</b> <b>COMUNE DI MADDALONI – PROGETTO ESECUTIVO</b>												
<b>Cancello – Frasso T. – Relazione di calcolo Rilevati</b> <b>ferr. dal km 9+119 al km 10+327</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF1N</td> <td>01 E ZZ</td> <td>CL</td> <td>GE0005 004</td> <td>B</td> <td>31 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	31 di 31
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF1N	01 E ZZ	CL	GE0005 004	B	31 di 31								

## 9 ALLEGATO

Modello di calcolo della stabilità di versante.