

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA**

**U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**METROFERROVIA DI RAGUSA.  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI**

**GEOTECNICA**

**Rilevati ferroviari – relazione di calcolo**

SCALA:

-

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

RS3Y 1B D 10 RG OC0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Eusepi	Luglio 2021	G.Scasserra	Luglio 2021	S. Vanfiori	Luglio 2021	Benedi Luglio 2021



File: RS3Y1BD10RHOC0000001A.DOC

n. Elab.:



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA  
Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	2 di 22

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	INTRODUZIONE .....	4
3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
4.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
5.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	6
6.	ANALISI DEI CARICHI .....	7
7.	CARICHI PERMANENTI E ACCIDENTALI ALLA SOMMITÀ DEL RILEVATO .....	7
8.	AZIONE SISMICA .....	7
9.	PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO (STAZIONE OSPEDALE/ CISTERNAZZI).....	8
10.	COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	9
11.	SOFTWARE DI CALCOLO.....	10
11.1.	GEO-SLOPE/W .....	10
11.2.	PLAXIS .....	12
12.	VERIFICA DI STABILITÀ .....	13
13.	COMBINAZIONI DI CARICO .....	13
14.	CARICHI APPLICATI .....	14
15.	RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ .....	14
16.	CALCOLO DEI CEDIMENTI.....	17
17.	STIMA NUMERICA DEI CEDIMENTI .....	18
17.1.	FASI DI CALCOLO .....	19
18.	RISULTATI DEL CALCOLO DEI CEDIMENTI.....	21



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	3 di 22

## 1. PREMESSA

Il 23 Gennaio 2017 è stato siglato un Protocollo d’Intesa tra RFI, Regione Sicilia e Comune di Ragusa con il quale è stato istituito un gruppo di lavoro congiunto finalizzato alla realizzazione della “*Metropolitana di superficie*” nel territorio del comune di Ragusa, con la previsione della realizzazione di nuovi impianti per il servizio ferroviario passeggeri e l’adeguamento di impianti esistenti.

In data 15 Gennaio 2018 è stata sottoscritta la convenzione tra il Comune di Ragusa e la Presidenza del Consiglio dei Ministri per la realizzazione dell’intervento “*Riqualificazione della periferia storica di Ragusa: ripristinare accessibilità e connessione con la città moderna attraverso la Ferrovia Urbana*”.

In particolare, la realizzazione degli interventi proposti è finalizzata al raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- Maggiore competitività del trasporto ferroviario rispetto al trasporto collettivo su gomma;
- Maggiore accessibilità al sistema ferroviario;
- Sviluppo del servizio metropolitano nella zona urbana di Ragusa.

Le fermate della nuova linea “Metroferrovia” sono state concepite come un sistema omogeneo che si sviluppa sul territorio comunale.

In tutti gli interventi di fermata lungo la linea si è previsto di far interagire l’infrastruttura ferroviaria con l’area urbana, su cui si attesta, per creare aree di interesse per la comunità, come piccole piazze.

In tale intervento, è prevista la realizzazione della nuova stazione Cisternazzi/Ospedale.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
 P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
 LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA  
 Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	4 di 22

## 2. INTRODUZIONE

Nella presente relazione, per i rilevati ferroviari sono state eseguite sia analisi allo stato limite ultimo, valutando la stabilità delle opere in terra, sia il loro comportamento in fase di esercizio, valutandone i cedimenti.

Il rilevato di nuova costruzione presenta un'altezza massima pari a  $h=1.6$  m in corrispondenza della sezione ubicata alla progressiva 0+400

Il calcolo della stabilità dell'opera è stato sviluppato con l'ausilio del codice di calcolo "GeoSlope", mentre il calcolo dei cedimenti è stato sviluppato con il codice di calcolo Plaxis 2D. La verifica di stabilità è stata svolta per la porzione di rilevato di nuova costruzione, mentre nell'analisi dei cedimenti oltre alla verifica della compatibilità dei cedimenti della porzione di nuovo rilevato è stata valutata anche la compatibilità dei cedimenti indotti dalla realizzazione del nuovo rilevato sul rilevato esistente. .

La sezione di progetto analizzata è ubicata alla progressiva 0+400

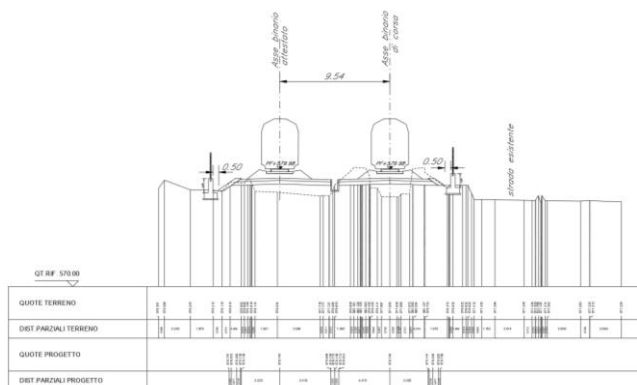



Figura 1: Sezione di progetto.

	<b>LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA</b> <b>P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA</b> <b>LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</b>					
	<b>GEOTECNICA</b> Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	<b>COMMESSA</b> RS3Y	<b>LOTTO</b> 1B	<b>CODIFICA</b> D10 RG	<b>DOCUMENTO</b> OC 00 00 001	<b>REV.</b> A

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018 n. 42) - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».
- [2] Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019) - Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- [3] Eurocodice EN 1997-1: Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [4] Eurocodice EN 1998-5: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazione, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- [5] RFI DTC SICS SP IFS 001 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.
- [6] RFI TCAR ST AR 01 001 D – Standard di qualità del binario geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [7] RFI DTC SI CS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 3 – Corpo Stradale
- [8] Regolamento (UE) N° 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 776/2019 della Commissione del 16 maggio 2019;

### 4. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- Rif. [1] RS3Y1BD10GEOC0000001 - “Relazione Geotecnica Generale”
- Rif. [2] RS3Y1BD69RGGE0001001 - “Relazione Geologica Generale”
- Rif. [3] RS3Y1BD10F7OC0000001 - “Profilo Geotecnico – Stazione Cisternazzi/Ospedale”
- Rif. [4] RS3Y1BD10W9IF0001001/2/3 - “Sezioni Trasversali – Stazione Cisternazzi/Ospedale”



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	6 di 22

## 5. INQUADRAMENTO GEOTECNICO

La stratigrafia di sottosuolo prevede la presenza di un primo strato di riporto di spessore pari a 1 m, avente una rigidezza pari a 10MPa, incoerente e con angolo d'attrito pari a 28°. In successione è presente la formazione delle calcareniti: i valori dei parametri meccanici, coerenti con quanto definito nella relazione geotecnica, sono indicati nella tabella seguente. Per il rilevato ferroviario di nuova costruzione si assumono i valori dei parametri meccanici definiti dal Manuale di Progettazione RFI (Doc. Rif. [7]), mentre per il rilevato esistente si assumono prudenzialmente i valori inferiori riportati in tabella seguente.


**Tabella 1 - valori dei parametri meccanici dei materiali**

Unità GEO	da [m]	a[m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	c' [kPa]	$\phi$ [°]	E' [MPa]
Rilevato Ferr. Nuovo	1.6	0	20	0	38	30
Rilevato Ferr. Esistente	1.6	0	20	0	32	20
Riporto (R)	0	-1	20	0	28	10
Calcareniti (Cal)	-1	In poi	20.6	100	26	1000

Legenda della tabella sopra riportata:

- $\gamma$  = Peso di volume del terreno [kN/m<sup>3</sup>];
- c' = Coesione efficace [kPa];
- $\phi$ ' = Angolo di resistenza al taglio [°];
- E' = Modulo di rigidezza operativo [MPa];

La falda è posizionata a 20 m di profondità e non interagisce con le opere.

	<b>LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA</b> <b>P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA</b> <b>LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</b>					
	GEOTECNICA Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	COMMESSA <b>RS3Y</b>	LOTTO <b>1B</b>	CODIFICA <b>D10 RG</b>	DOCUMENTO <b>OC 00 00 001</b>	REV. <b>A</b>

## 6. ANALISI DEI CARICHI

Si illustrano di seguito i carichi presi in considerazione per le verifiche, qualificati con il loro valore caratteristico. Tali carichi verranno poi amplificati come esplicitato al successivo par. 13

## 7. CARICHI PERMANENTI E ACCIDENTALI ALLA SOMMITÀ DEL RILEVATO

Alla sommità del rilevato è stato applicato un sovraccarico da traffico ferroviario, valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. [7], denominato modello di carico LM71. In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente considerando che il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a 250 kN/m distribuito a interasse 1.6m e amplificato per il coefficiente di adattamento  $\alpha=1.1$  (par. 3.8.1.3.2.2. del Doc. [7]). Tale carico è stato riportato dapprima sulla larghezza della traversina, di larghezza pari a 2.3 m, quindi al piano di posa del ballast. E' stata considerata una diffusione che avviene per 0.4 m di profondità con pendenza pari a 45°. Pertanto, la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 3 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria, ossia  $(250\text{kN/m} / 1.6\text{m}) \times 1.1 (2.3\text{m} + 2 \times 0.4\text{m}) = 55.4 \text{ kPa}$ .

Il carico permanente del ballast è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80 m con un peso pari a 18.00 kN/m<sup>3</sup>. Il carico del ballast è agente sulla base di 5.7 m, tuttavia è stato riportato sulla larghezza di 3 m ossia la stessa larghezza del carico LM71, con il procedimento seguente:  $14.4 \text{ kPa} \times 5.7 \text{ m} / 3 \text{ m} = 27.3 \text{ kPa}$ .

## 8. AZIONE SISMICA

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$  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.

Gli spettri di risposta di progetto sono stati definiti per tutti gli stati limite considerati, e, note la latitudine e la longitudine del sito, si sono ricavati i valori dei parametri necessari alla definizione dell'azione sismica e quindi del relativo spettro di risposta. Più avanti sono indicati i valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  necessari per la determinazione delle azioni sismiche.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	8 di 22

Le strutture di progetto avranno quindi i seguenti parametri sismici:

- vita nominale  $V_N = 50$ ;
- classe d'uso II, coefficiente d'uso 1
- periodo di riferimento pari a  $V_R = 50$ ;
- il periodo  $T_R$  in corrispondenza dello SLV sarà pari a  $T_R = 475$  anni;
- categoria di sottosuolo B;
- categoria topografica T1

## 9. PARAMETRI SISMICI DI CALCOLO (STAZIONE OSPEDALE/ CISTERNAZZI)

I parametri sismici di calcolo, ricavati dal Doc.Rif. [2], sono riportati nella tabella di seguito

**Tabella 2 Parametri per  $V_R=50$ anni**

SL	$T_R$ (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)
SLO	30	0,033	2,523	0,221
SLD	50	0,047	2,517	0,25
SLV	475	0,192	2,317	0,394
SLC	975	0,277	2,369	0,456





LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	9 di 22

## 10. COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

La verifica di stabilità globale è condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 delle NTC18, inerente alla stabilità dei pendii. In mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

$a_{\max}$  = azione sismica di progetto definita al par. 9, moltiplicando l'accelerazione  $a_g$  qui assunta pari a 0.19g per il coefficiente S assunto pari a 1.2


$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Come chiarito al Par. 7.11.4 delle NTC18 (Doc. [1]), il valore del coefficiente  $\beta_s$  da assumere è pari a 0.38 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, come nel caso in oggetto.

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV :

$$k_h = 0.38 \times (0.19 \times 1.2) = 0.087$$

$$k_v = \pm 0.043$$

	<b>LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA</b> <b>P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA</b> <b>LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</b>					
	<b>GEOTECNICA</b> Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	<b>COMMESSA</b> <b>RS3Y</b>	<b>LOTTO</b> <b>1B</b>	<b>CODIFICA</b> <b>D10 RG</b>	<b>DOCUMENTO</b> <b>OC 00 00 001</b>	<b>REV.</b> <b>A</b>

## 11. SOFTWARE DI CALCOLO

### 11.1. GEOSLOPE/W

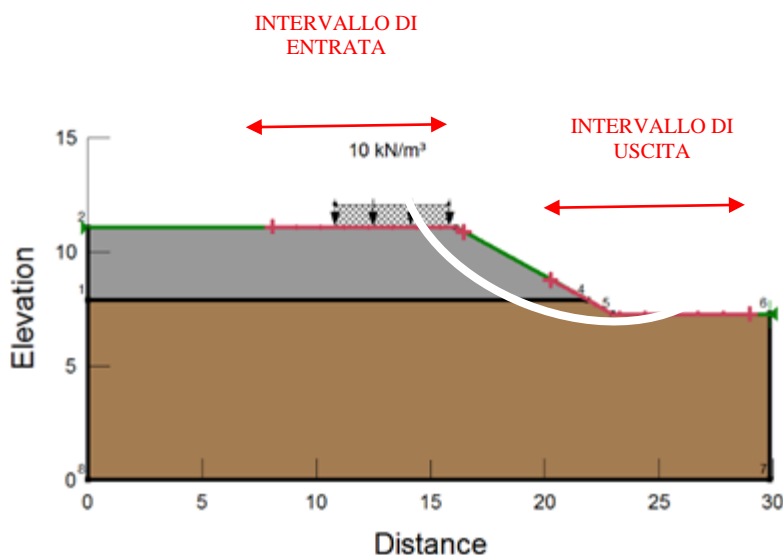
La valutazione dei fattori di sicurezza per la stabilità globale dell'opera è condotta mediante il modulo “Slope /W” del programma GeoStudio 2018 della GEO-SLOPE International.

Tale programma consente un'analisi di stabilità all'equilibrio limite tenendo conto di terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, di sovraccarichi, della presenza di pressioni neutre diverse dalle pressioni idrostatiche, di sollecitazioni sismiche mediante un'analisi di tipo pseudostatico, di tiranti di ancoraggio e di eventuali altri elementi di rinforzo (ad esempio geogriglie).

Il programma è in grado di fornire una soluzione generale al problema bidimensionale di stabilità ricavandone il coefficiente di sicurezza (FS) come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie di possibile scorrimento e quella effettivamente mobilitata dal volume di terreno coinvolto nel movimento; il criterio di rottura adottato è quello classico di Mohr - Coulomb.

La valutazione del coefficiente di sicurezza è effettuata per tentativi, generando un elevato numero di superfici mediante un algoritmo pseudo - casuale. Il programma è in grado di compiere le verifiche di stabilità fornendo il coefficiente di sicurezza secondo differenti criteri; l'analisi è stata sviluppata utilizzando il metodo di Morgenstern-Price con superfici circolari ottimizzate.

Si precisa che la ricerca delle superfici critiche avviene definendo un intervallo di entrata (a monte) ed un intervallo di uscita (a valle); vengono quindi generati diversi archi di cerchio, contraddistinti ovviamente da diversi centri. Gli intervalli di entrata e uscita delle superfici sono individuati nelle figure estratte dal programma da una linea di colore rosso, mentre la linea verde identifica il profilo del terreno (vedasi figura seguente).



**Figura 2 Criteri di ricerca delle superfici di scivolamento**

### Parametri caratteristici e fattorizzazione

Nelle analisi di stabilità con il software Slope/W i parametri di resistenza delle unità geotecniche e i carichi variabili sono inseriti con i valori caratteristici; nelle analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche, i parametri geotecnici vengono poi fattorizzati automaticamente dal programma in accordo ai criteri illustrati nel par. 13 per il caso statico. Nelle figure seguenti si riportano i coefficienti parziali utilizzati all'interno del software per le analisi in condizioni statiche.

Material Parameters	
Effective Cohesion:	1.25
Effective Coefficient of Friction:	1.25
Undrained Strength:	1.4
Shear Strength (Other Models):	1.25
Reinforcement Parameters	
Pullout Resistance:	1
Shear Force:	1
Tensile Strength:	1

**Figura 3 Software Slope/W. Coefficienti parziali utilizzati nelle analisi di stabilità in condizioni statiche**

In condizioni sismiche i coefficienti sui parametri geotecnici sono invece unitari.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	12 di 22

Per ciò che riguarda i carichi, essi vengono inseriti adeguatamente amplificati già nel software, come indicato al successivo par. 14


## 11.2. PLAXIS

L'analisi dei cedimenti è stata svolta con il software Plaxis.

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 di 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 (axisymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti, tra cui calcoli di tipo Plastico (plastic) e Analisi di consolidazione (consolidation). La versione utilizzata è la 2019.0.0.0.

	<b>LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA</b> <b>P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA</b> <b>LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</b>					
	GEOTECNICA Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	COMMESSA RS3Y	LOTTO 1B	CODIFICA D10 RG	DOCUMENTO OC 00 00 001	REV. A

**12. VERIFICA DI STABILITÀ**  
**13. COMBINAZIONI DI CARICO**

Le verifiche statiche sono state effettuate secondo la combinazione 2 dell'approccio 1 della normativa (NTC 2018) – comb. A2+M2+R2 – tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle seguenti.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolge i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Figura 4: Coefficienti parziali sulle azioni.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	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	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Figura 5: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

Figura 6: Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di fronti di scavo.

In condizioni sismiche il coefficiente sulle resistenze di progetto R vale invece 1.2 (7.11.4 del Doc.Rif. [1])

Inoltre in condizioni sismiche, per quanto riportato al 3.8.1.3.4.3 del Doc. Rif. [7] il coefficiente di combinazione per il carico variabile da traffico ferroviario, da utilizzare tanto nelle verifiche agli stati limite ultimi che di esercizio, dovrà essere posto pari a 0,2.



LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	14 di 22

## 14. CARICHI APPLICATI

L'analisi è stata svolta in condizioni statiche (combinazione GEO) e sismiche.. Al piano campagna si considera un carico permanente dovuto alla presenza del ballast (27.3 kPa, applicato su 3 m di larghezza) ed un carico ferroviario, valutato secondo quanto definito precedentemente, uniformemente distribuito.

In condizioni statiche, tenendo presente i coefficienti elencati al par. 13, si assegna un carico pari a:

$$q = (27.3 \times 1.3 + 55.4 \times 1.25) \text{kPa} = 104.7 \text{kPa}$$

In condizioni sismiche il valore del carico è ottenuto moltiplicando LM71 per il coefficiente di combinazione pari a 0.2 introdotto al par.13 , in maniera tale da ottenere

$$q = (27.3 \times 1 + 55.4 \times 0.2) \text{kPa} = 38.4 \text{kPa}.$$

Si applicano inoltre i coefficienti per analisi pseudo-statica illustrati al par. 10

## 15. RISULTATI ANALISI DI STABILITÀ

Di seguito l'analisi di stabilità in condizione statica

GEOTECNICA  
Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	15 di 22

Color	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion' (kPa)	Ph <sup>7</sup> (°)
■	Limestone	20	200	26
■	Railway Embankment	20	0	38
■	Silt	20	0	28

Horz Seismic Coef.: ; Surcharge (Unit Weight): 104,7 kN/m<sup>3</sup>

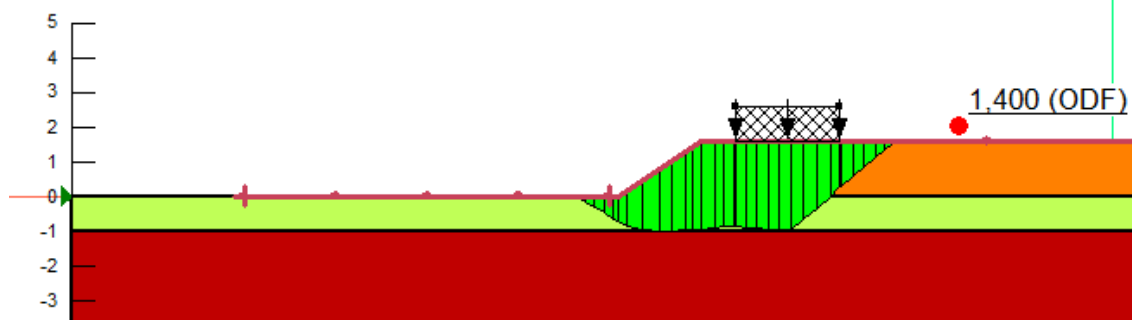


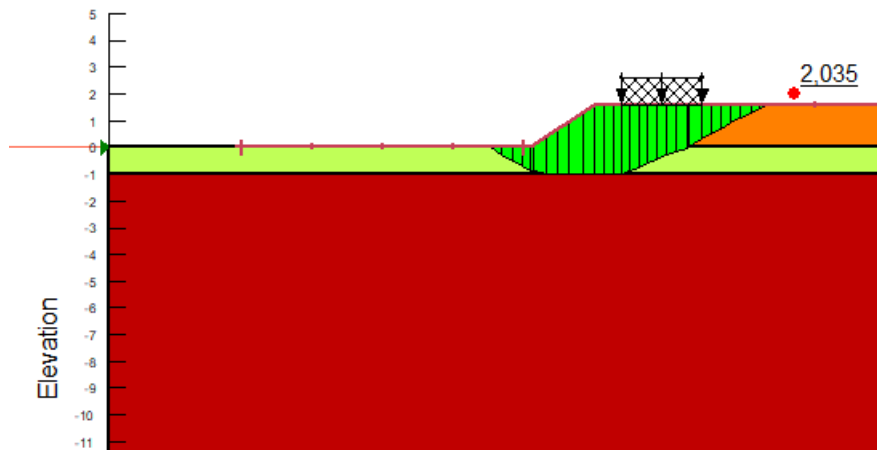
Figura 7 Analisi statica

La verifica di stabilità risulta soddisfatta, essendo  $FS=1.4 \geq 1.1$

Di seguito l'analisi di stabilità in condizione sismica

Color	Name	Unit Weight (kNm <sup>3</sup> )	Cohesion' (kPa)	Ph <sup>7</sup> (°)
■	Limestone	20	200	26
■	Railway Embankment	20	0	38
■	Silt	20	0	28

Horz Seismic Coef.: 0,087; Surcharge (Unit Weight): 38,4 kN/m<sup>3</sup>





LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA  
P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA  
LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI

GEOTECNICA

Rilevati ferroviari – relazione di calcolo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3Y	1B	D10 RG	OC 00 00 001	A	16 di 22

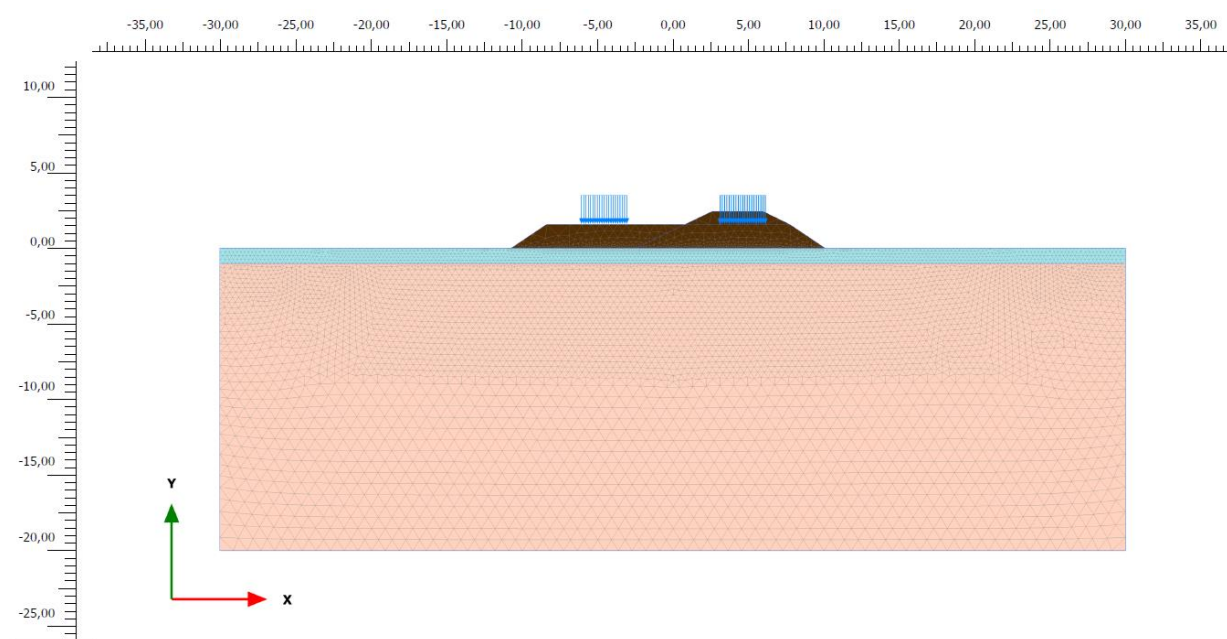
La verifica di stabilità risulta soddisfatta, essendo  $FS=2.04 \geq 1.2$

Le verifiche risultano ampiamente soddisfatte. Si noti che le superfici di scorrimento sono sempre molto superficiali, e ciò è dovuto alle caratteristiche coesive del calcare che impedisce la formazione di superfici di scorrimento più profonde.



## 16. CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 8. Si tratta di un modello bi-dimensionale in cui è mostrato il rilevato in sezione, sia la nuova porzione che la porzione esistente, ed il sovraccarico dovuto alla presenza dell'armamento ferroviario e del traffico ferroviario.



**Figura 8: Modello geotecnico di sottosuolo in Plaxis.**

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 1

## 17. STIMA NUMERICA DEI CEDIMENTI

Il modello costitutivo adottato per il terreno segue il criterio di resistenza alla Mohr Coulomb. Tenuto conto del tipo di terreni di fondazione e delle condizioni di falda, il calcolo viene condotto in condizioni drenate. Non risulta necessario stimare il decorso nel tempo per effetto dei processi di consolidazione. I cedimenti stimati sono pertanto da ritenersi immediati. In base al manuale di progettazione Corpo Stradale (Doc. Rif. [7]), l'analisi dei cedimenti dei rilevati ha lo scopo di accertare il rispetto dei criteri sui cedimenti di seguito elencati

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 C è necessario garantire il rispetto dei seguenti criteri di ammissibilità:

- cedimento residuo (differenza tra cedimento di lungo termine e cedimento a fine costruzione rilevato) inferiore a 5cm;
- cedimento residuo inferiore al 10% del cedimento di lungo termine
- cedimento differenziale fra le rotaie del binario più vicino della linea esistente, come definito nel documento Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h (Cod. RFI TCAR ST AR 01 001 D) e suoi allegati, definito XL, inferiore a 10mm.

I carichi applicati sono quelli riportati al par. 7. Tali carichi non sono amplificati, risultando l'analisi dei cedimenti una verifica di tipo SLE.

Di seguito la mesh del modello:

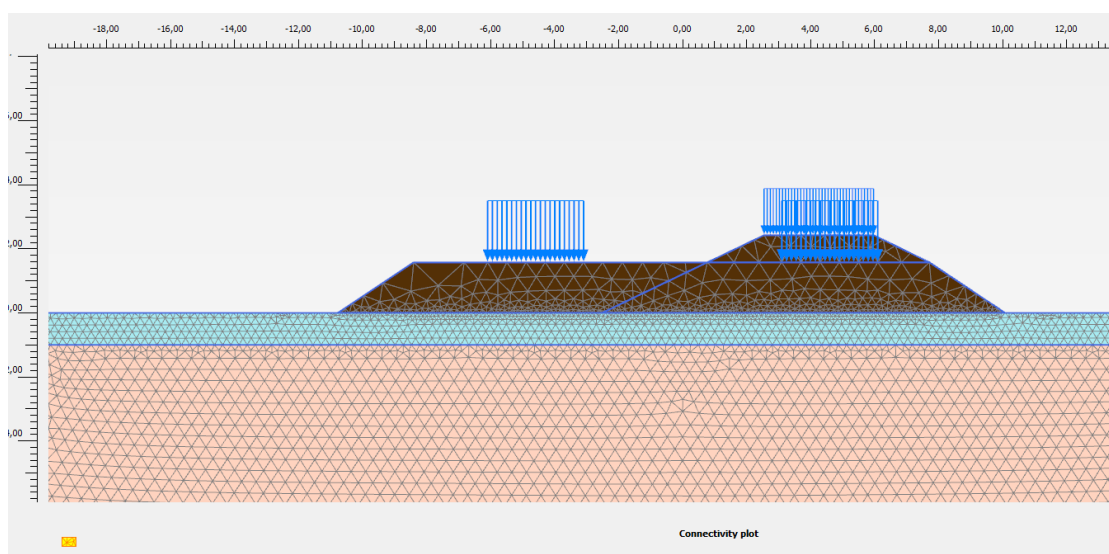


Figura 9 Mesh

### 17.1. Fasi di calcolo

L'analisi è svolta secondo 4 fasi di calcolo

FASE 1: Condizione litostatica;

FASE 2: modellazione del rilevato esistente (situazione attuale);

FASE 3: Realizzazione del nuovo rilevato di progetto;

FASE 4: Applicazione dei carichi permanenti e accidentali.

PLAXIS 2D Version 2019.0.0.0

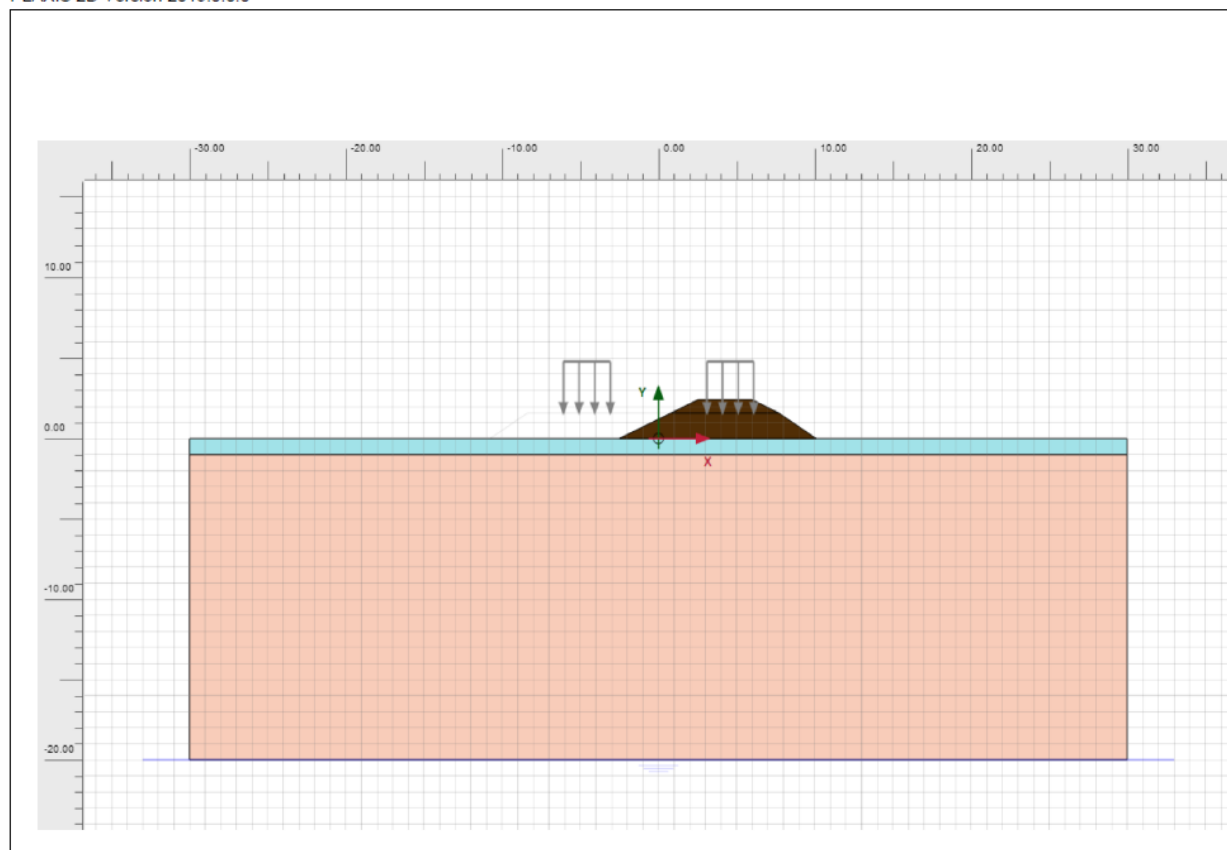
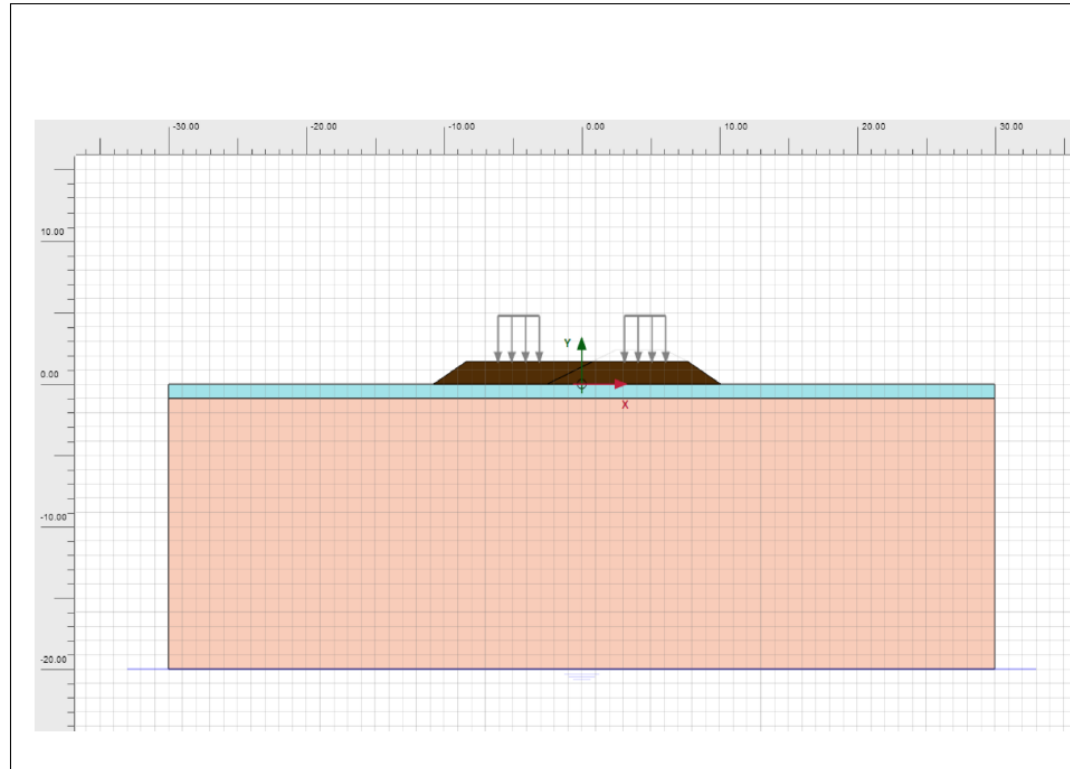


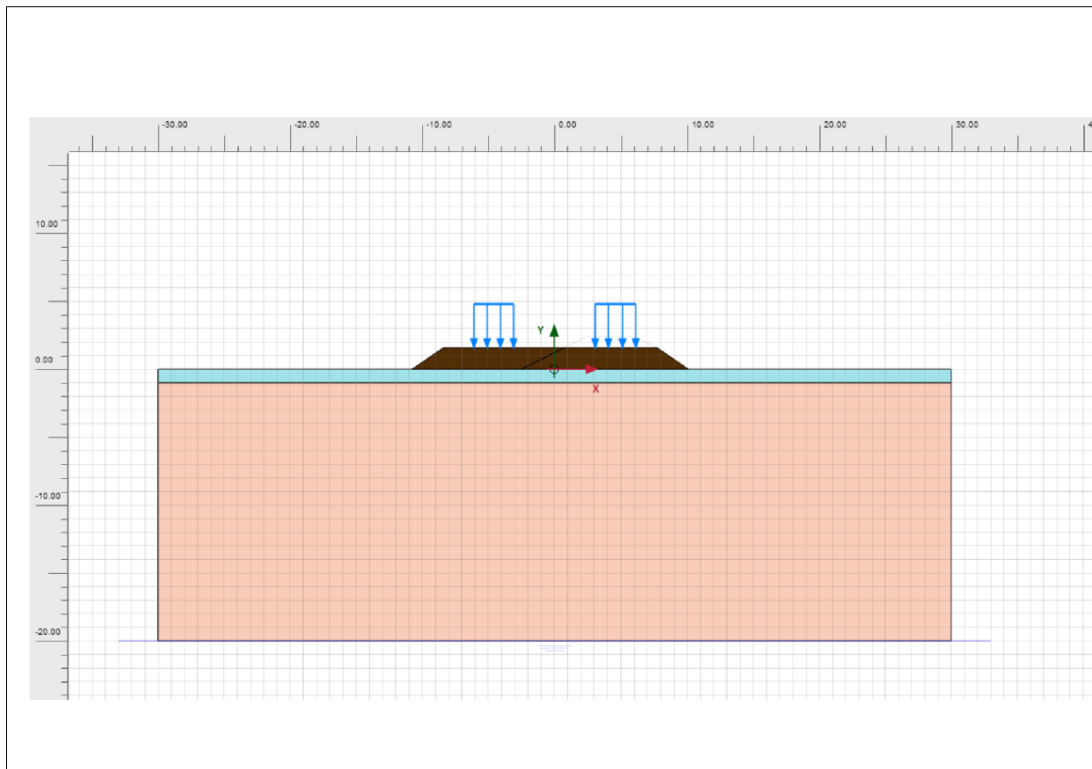
Figura 10: Fase di calcolo 2 – modellazione rilevato esistente

PLAXIS 2D Version 2019.0.0.0



**Figura 11: Fase di calcolo 3 – Costruzione rilevato di progetto.**

PLAXIS 2D Version 2019.0.0.0




	<b>LINEA SIRACUSA - RAGUSA - GELA</b> <b>P.D. METROFERROVIA DI RAGUSA</b> <b>LOTTO 1B - NUOVA STAZIONE CISTERNAZZI</b>					
	<b>GEOTECNICA</b> Rilevati ferroviari – relazione di calcolo	<b>COMMESSA</b> RS3Y	<b>LOTTO</b> 1B	<b>CODIFICA</b> D10 RG	<b>DOCUMENTO</b> OC 00 00 001	<b>REV.</b> A

Figura 12: Fase di calcolo 4 – Applicazione carichi.

## 18. RISULTATI DEL CALCOLO DEI CEDIMENTI

Il cedimento in asse al rilevato di nuova costruzione risulta pari a 1.8cm mentre quello in asse al rilevato esistente risulta pari a 0.8 cm. I risultati sono riportati di seguito in Figura 13 e sono compatibili con la funzionalità dell’opera. I cedimenti infatti risultano inferiori al limite dei 5cm.

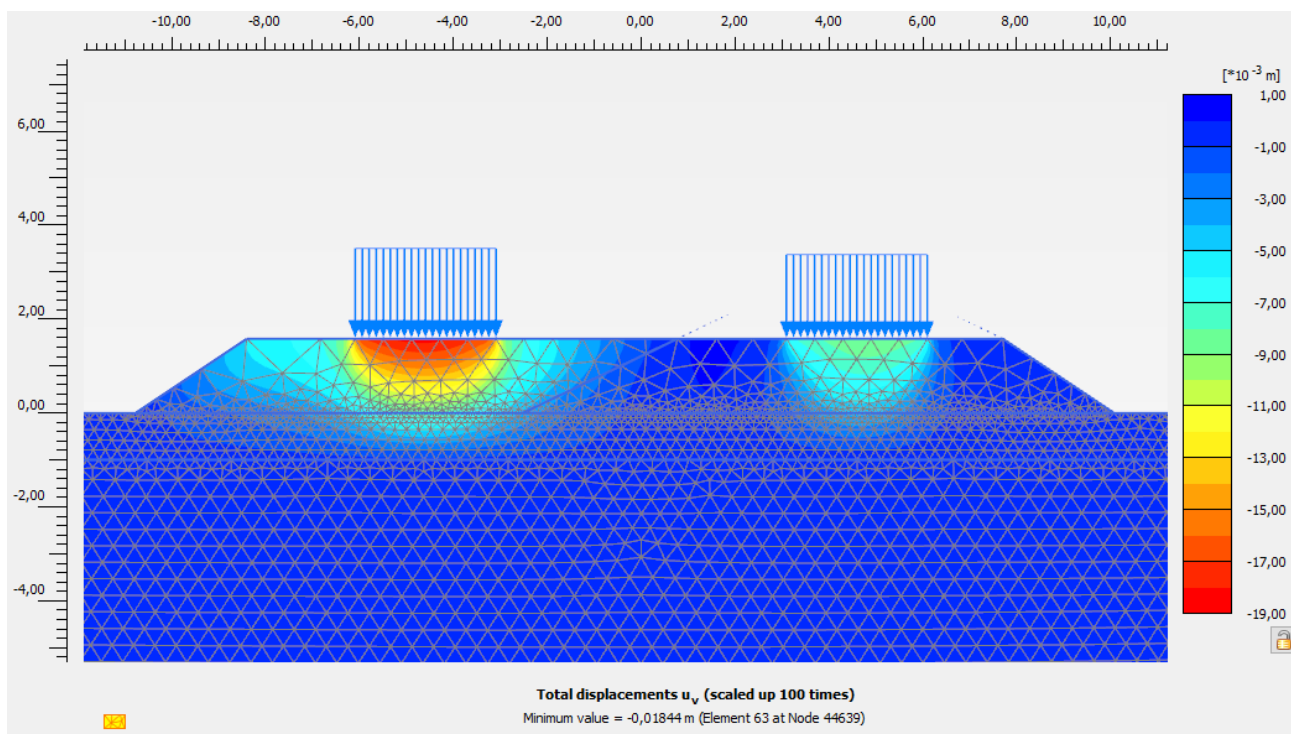


Figura 13: Spostamenti verticali dei rilevati di nuova costruzione e esistente.

I cedimenti differenziali tra le rotaie del binario esistente risultano ampiamente inferiori a 10mm ( Figura 14)

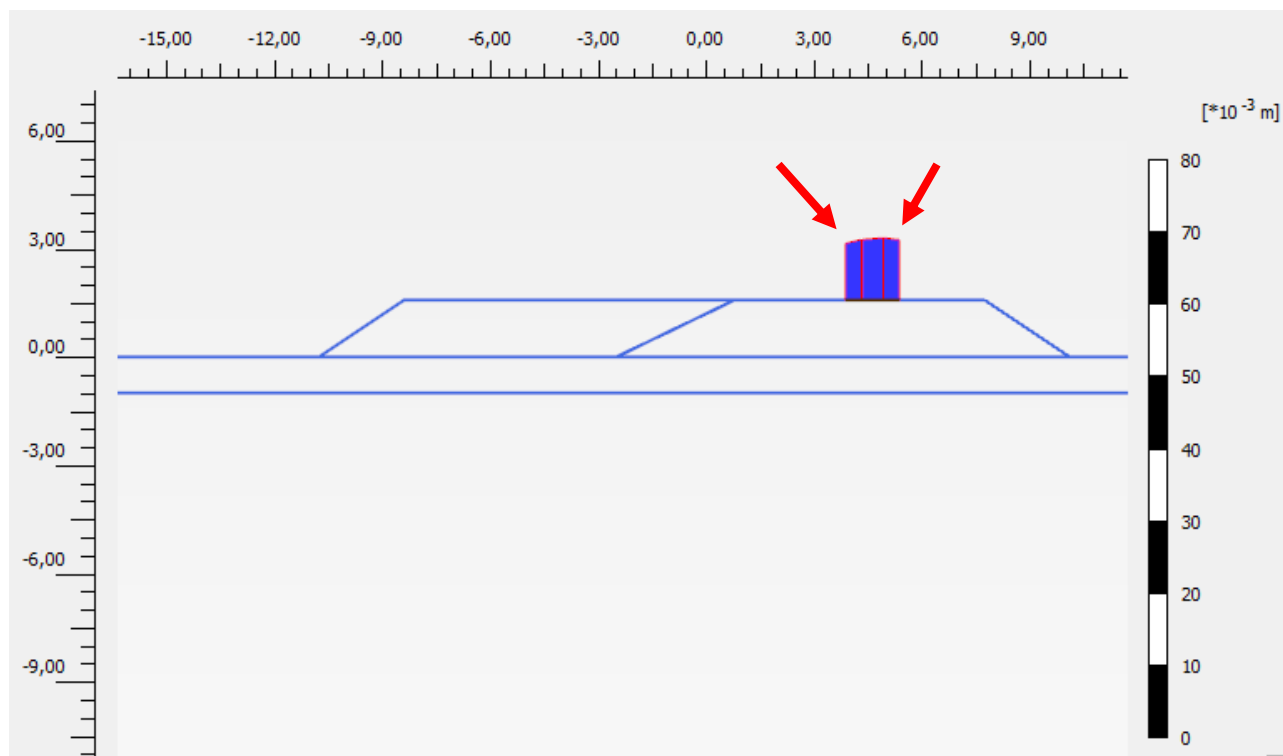


Figura 14 Spostamenti verticali sotto il binario esistente, per la valutazione del cedimento differenziale. Con frecce rosse sono indicate le posizioni delle rotaie. La differenza dei cedimenti è il valore XL