

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

COD. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

Ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594

IL GEOLOGO

Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologici del Lazio n. 725

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Architetti di Roma n. 16183

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI

PROTOCOLLO

DATA:

GEOTECNICA

Relazione geotecnica sui rilevati

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L0702M D 1801

NOME FILE

T00GE00GETRE03B

REVISIONE

CODICE ELAB. T00GE00GETRE03

B

D					
C					
B	AGGIORNAMENTO	Luglio 2019			
A	EMISSIONE	Giugno 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. SEZIONE DI VERIFICA.....	4
4. QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	5
5. VERIFICHE DI STABILITÀ.....	9
5.1 TIPOLOGIE DI ANALISI.....	9
5.2 APPROCCIO NORMATIVO.....	9
5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO.....	11
5.4 AZIONI SISMICHE.....	12
5.5 MODELLO GEOTECNICO.....	13
5.6 CARICHI.....	14
5.7 RISULTATI DELLE ANALISI.....	15
6. ANALISI DEI CEDIMENTI.....	20
6.1 APPROCCIO NORMATIVO.....	20
6.2 CRITERI DI VERIFICA.....	20
6.3 METODO DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO.....	21
6.4 PARAMETRI DI CALCOLO E MODELLI COSTITUTIVI.....	27
6.5 CARICHI DI PROGETTO.....	29
6.6 RISULTATI DELLE ANALISI.....	29
ALLEGATO DI CALCOLO.....	43
ANALISI 1: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2, CD....	43
ANALISI 2: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2, CU....	48
ANALISI 3: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE SISMICA SLV M2+R1, CD.....	55
ANALISI 4: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE SISMICA SLV M2+R1, CU.....	60

1. PREMESSA

Nel presente rapporto vengono analizzati e commentati i risultati delle verifiche geotecniche delle porzioni di tracciato previste in rilevato nell'ambito dei lavori ascrivibili alla realizzazione dell'imbocco lato Umbria della galleria Guinza, opera prevista nel progetto definitivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

I rilevati previsti in progetto interessano unicamente l'area di svincolo in corrispondenza del tratto finale dell'intervento (i.e. "Svincolo lato Marche"), in particolare presso la rampa che connette il tracciato con la viabilità esistente Via Cà Lillina. I rilevati in oggetto presentano un'altezza massima $H \approx 8.3$ m circa.

Nel Capitolo 2 è contenuta la normativa di riferimento.

Nei Capitoli 3 e 4 vengono analizzati la sezione di verifica e il quadro geotecnico di riferimento.

Nel Capitolo 5 vengono esposti i risultati delle analisi di stabilità svolte per il complesso rilevato-terreno di fondazione.

Il Capitolo 6 tratta, infine, la previsione dell'entità e dell'evoluzione temporale dei cedimenti delle fondazioni.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”
- CIRCOLARE 21.01.2019 n.7 - Istruzioni per l’applicazione dell’“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- DM 14.01.2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- CIRCOLARE n.617 del 2.2.2009 – Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008.

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

- Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.

3.SEZIONE DI VERIFICA

Ai fini delle analisi geotecniche e dell'individuazione delle sezioni di verifica, è stato condotto un esame di dettaglio delle condizioni geometriche (altezza del rilevato), delle caratteristiche stratigrafiche (spessore e tipologia dei terreni di impianto) ed idrauliche (falda di progetto).

Tenuto conto che in prossimità dello svincolo lato Marche, ove sorgeranno i rilevati di interesse, si registra la sostanziale costanza del modello stratigrafico, meccanico e idraulico ipotizzato, l'elemento di maggior criticità è risultato l'altezza del rilevato.

Come sezione di calcolo si è dunque scelta la Sezione n.8 (km 0+175) della rampa dello svincolo, caratterizzata da un'altezza H di ca 8.3m. Essa viene schematizzata in Figura 3.1.

I risultati delle analisi relative alla Sezione n.8 sono, dunque, estrapolabili per il dimensionamento dell'opera nel suo intero sviluppo.

SEZIONE N.: 8
 QT. PROGETTO: 468,072
 DIST.PROG.: 175,000
 DIST.PREC.: 25,000
 DIST.SUCC.: 25,000

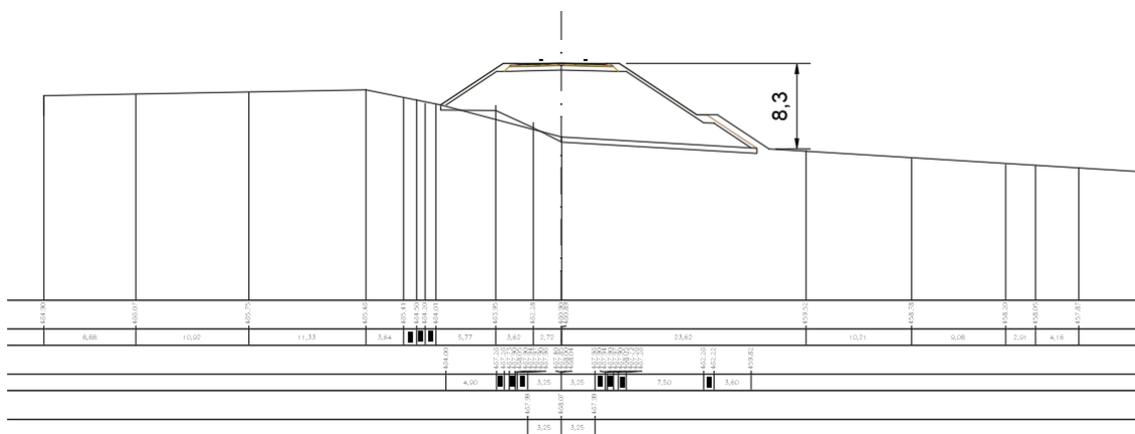


Figura 3.1 - Rilevato rampa Svincolo lato Marche, Sez. 8, km 0+175.

4. QUADRO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Per gli aspetti geotecnici generali dell'area entro cui ricadono i rilevati in progetto il riferimento è costituito dalle valutazioni contenute nell'elaborato "Relazione geotecnica" (rif. T00_GE00_GET_RE01) allegato al Progetto Definitivo.

Di seguito si riferisce unicamente circa gli aspetti salienti della caratterizzazione geotecnica ivi contenuta, rimandando alla consultazione del documento di riferimento per ogni eventuale approfondimento.

Dal punto di vista generale, le elaborazioni contenute nella Relazione Geotecnica si basano sui risultati del programma di indagini in situ ed in laboratorio pianificato ad hoc nell'ambito della corrente fase di progettazione del sito, attuato nel periodo Maggio-Agosto 2018.

In prossimità del collegamento lato Marche, si dispone del sondaggio S13p, eseguito in asse alla futura rotatoria. Il modulo stratigrafico mostra fino a 2.0m di profondità la presenza di riporti associabili al rilevato stradale esistente. In successione sono riscontrabili i detriti di versante, localmente costituiti da argille limose e limi argillosi debolmente sabbiosi poco consistenti. A 9.0m di profondità da testa sondaggio avviene il passaggio alle alluvioni terrazzate, formate da clasti e ciottoli marnoso-arenacei in matrice limo-argillosa. A 12.0m da testa sondaggio segue fino alle massime profondità investigate (18m) il substrato flyschoidale, costituito da alternanze decimetriche di marne e arenarie poco alterate e fratturate.

Dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati sismostratigrafici e dalle informazioni desumibili dalle indagini in situ e dai campioni analizzati in laboratorio, ai fini geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità:

- Riporti (TERRENO R)
- Detrito di versante (TERRENO CL);
- Alluvioni terrazzate (TERRENO AL);
- Formazione Marnoso-Arenacea (TERRENO FMA4b).

Per quanto riguarda i riporti del rilevato stradale attuale del TERRENO R, essi non interessano la zona in cui verranno realizzati i rilevati della nuova rampa: per tale motivo, la parametrizzazione progettuale di tali materiali non ha alcuna rilevanza nel presente contesto.

È utile inquadrare immediatamente le unità a seconda del loro comportamento geotecnico alla megascale del sito:

- Detrito di versante (TERRENO CL): assimilabile ad un **terreno coesivo**;
- Alluvioni terrazzate (TERRENO AL): assimilabili ad un **terreno incoerente**.
- Formazione Marnoso-Arenacea (TERRENO FMA4b): assimilabile ad un **terreno coesivo**.

Il modello stratigrafico di riferimento per l'area nel suo complesso viene schematizzato con riferimento alla sezione stratigrafica longitudinale (Figura 4.1).

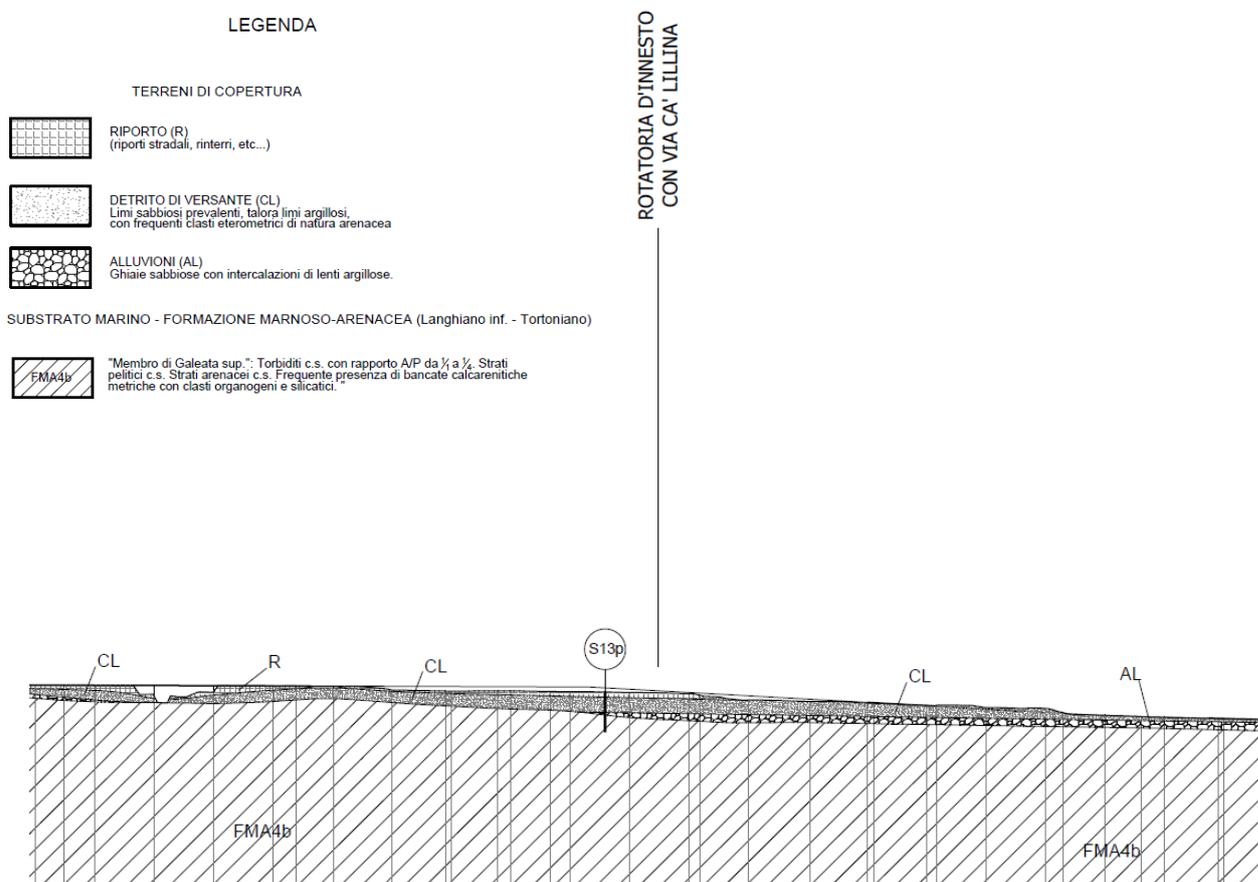


Figura 4.1 - Collegamento lato Marche: sezione stratigrafica lungo l'asse stradale.

La stratigrafia adottata in corrispondenza della Sezione n.8 di verifica viene schematizzata in Figura 4.2 e tiene conto in modo cautelativo degli spessori interpretati dal sondaggio S13p.

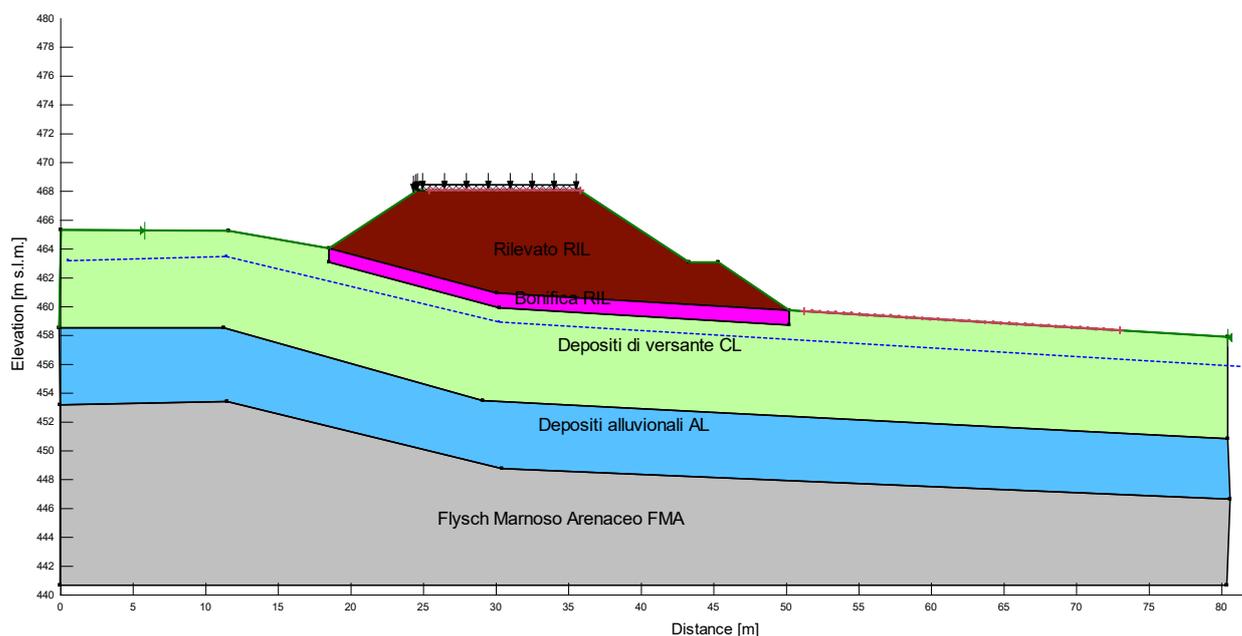


Figura 4.2 – Stratigrafia di calcolo.

In Tabella 4.1 viene riepilogato il quadro di sintesi delle caratteristiche geotecniche adottate nelle verifiche e desunte nell'ambito degli intervalli di variazione individuati nella Relazione Geotecnica.

Legenda:

- γ : peso di volume;
- c' : coesione efficace;
- ϕ' , angolo di resistenza al taglio;
- S_u : resistenza non drenata;
- E'_{25} : modulo elastico secante corrispondente ad un grado di mobilitazione della resistenza al taglio a rottura pari al 25%;
- E_d : modulo d'ammasso;
- ν' : coefficiente di Poisson;
- k : coefficiente di permeabilità.

Unità	Descrizione	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	S_u (kPa)	E'_{25} (MPa)	E_d (MPa)	ν' (-)	k (m/s)
RIL	Rilevato	19.0	0	35	-	50	-	0.25	1×10^{-4}
BONIFICA	Bonifica	19.0	0	35	-	50	-	0.25	1×10^{-4}
FMA	Flysch Marnoso- Arenaceo	23.0	100	35	-	-	500	0.25	1×10^{-10}
AL	Depositi alluvionali	19.0	0	32	-	25	-	0.25	1×10^{-5}
CL	Depositi di versante	20.0	5	23	60	7.5	-	0.30	1×10^{-8}

Tabella 4.1 – Parametri geotecnici: valori caratteristici X_k .

I valori riportati in Tabella 4.1, sono da intendersi come valori caratteristici X_k delle proprietà del terreno, ovvero quantificati senza applicazione di coefficienti di sicurezza ed in modo da rappresentare una cauta stima del valore che influisce sul verificarsi dello stato limite preso in esame.

Il regime idraulico del sottosuolo è schematizzato sempre in Figura 4.2 attraverso l'introduzione della linea piezometrica, che implica un andamento idrostatico delle pressioni interstiziali con la profondità.

In particolare, in base ai dati piezometrici analizzati nella "Relazione Geotecnica", **nelle verifiche si assume che la superficie libera della falda sia ubicata a 2.0m dal p.c. attuale.**

5. VERIFICHE DI STABILITÀ

5.1 TIPOLOGIE DI ANALISI

I calcoli di verifica sono stati eseguiti riferendosi sia alle condizioni statiche che a quelle sismiche.

In entrambi gli scenari, statico e sismico, le analisi sono state svolte sia in condizioni drenate, in tensioni efficaci, sia in condizioni non drenate, in termini di tensioni totali.

Le condizioni di verifica di riferimento, non drenate/drenate, sono da riferirsi alle condizioni di drenaggio dei terreni a grana fine saturi, in quanto le unità a grana grossa si portano molto rapidamente in condizioni drenate.

In definitiva, sono state condotte le n.4 differenti tipologie di analisi riepilogate in Tabella 5.1 (“CD”=condizioni drenate, “CU”=condizioni non drenate, “TE”=tensioni efficaci, “TT”=tensioni totali).

Analisi	Combinazione	Condizioni di drenaggio	Tensioni
1	Statica	CD	TE
2	Statica	CU	TT
3	Sismica	CD	TE
4	Sismica	CU	TT

Tabella 5.1 – Stabilità globale: scenari di verifica.

5.2 APPROCCIO NORMATIVO

Le analisi di stabilità sono state eseguite conformemente al decreto 17 Gennaio 2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (NTC 2018), con il metodo degli stati limite ultimi SLU (sicurezza nei confronti della rottura).

Le verifiche vengono eseguite relativamente ai seguenti stati limite di verifica:

- o VERIFICHE STATICHE SLU;
- o VERIFICHE SISMICHE SLV.

Le analisi statiche SLU sono state condotte coerentemente con la combinazione “fondamentale” delle azioni (cfr.§2.5.3 di NTC 2018), di seguito riepilogata.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Per le analisi SLV connesse alle azioni sismiche si è impiegata la combinazione “sismica” seguente (cfr.§2.5.3 di NTC 2018):

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Per i criteri di implementazione delle azioni sismiche si rimanda al §5.4.

Le verifiche agli SLU, statici e sismici, si intendono soddisfatte se avviene il rispetto della condizione $E_d \leq R_d$, con E_d valore di progetto dell'azione o del suo effetto e R_d valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Si sono adottati i criteri di verifica dei fronti di scavo e delle opere in materiali sciolti, per i quali la normativa di riferimento NTC2018 indica il medesimo approccio di verifica.

La valutazione del grado di sicurezza avviene dunque con riferimento a quanto disposto nell'impianto normativo al § 6.8.2 per le analisi statiche e al § 7.11.4 per le verifiche sismiche.

Per le verifiche statiche SLU si è impiegato l'Approccio Progettuale 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2).

La valutazione del grado di sicurezza avviene, dunque, con riferimento ai valori di progetto $X_d = X_k / \gamma_M$ dei parametri di resistenza del terreno, ottenuti fattorizzando i valori caratteristici X_k a mezzo dei coefficienti parziali di sicurezza γ_M sui materiali.

Per le verifiche sismiche SLV si è impiegata una combinazione del tipo M1+R2 (cfr. § 7.11.4 di NTC2018), in cui i coefficienti amplificativi delle azioni sono assunti unitari e i parametri geotecnici vengono utilizzati con il loro valore caratteristico X_k .

Di seguito si riassumono i valori numerici dei coefficienti parziali sulle azioni (γ_F), sui materiali (γ_M) e sulle resistenze (γ_R) in accordo con NTC 2018.

CASO	AZIONI -				PROPRIETÀ TERRENO -				RESISTENZE -
	γ_F				γ_M				
	Permanenti		Variabili		Tan	c'	S_u	γ	
Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	ϕ'				γ_R	
SLU A2+M2+R2	1.0	1.0	1.3	0	1.25	1.25	1.4	1.0	1.1
SLV M1+R2	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2

Tabella 5.2 – Stabilità globale: approccio di calcolo e coefficienti parziali di sicurezza.

La resistenza di progetto R_d del sistema geotecnico viene dedotta come (cfr. §6.2.4.1 di NTC2018):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

dove a_d è la particolare geometria del problema.

Il coefficiente di sicurezza parziale γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema, coerentemente con il set R2 relativamente alle condizioni di stabilità dei fronti di scavo/rilevati, è pari a 1.1 e 1.2 rispettivamente in combinazione SLU e SLV.

Ciò sta a significare che, una volta amplificate le azioni e parzializzate le caratteristiche geotecniche dei terreni nei modi sopra precisati, **si adotta un coefficiente di sicurezza minimo pari a $FS_{adm}=\gamma_R=1.1$ in condizioni statiche SLU, $FS_{adm}=\gamma_R=1.2$ in quelle pseudostatiche SLV.**

5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità sono state realizzate con i metodi all'equilibrio limite.

Il codice di calcolo utilizzato per effettuare le analisi è SLOPE/W, della suite di prodotti geotecnici GEOSTUDIO 2012, prodotto da GEO-SLOPE International, Ltd.

Nelle analisi di stabilità è stato utilizzato il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato sul contemporaneo equilibrio delle forze e dei momenti e facente parte della famiglia dei cosiddetti metodi delle strisce.

Il calcolo viene effettuato in modo iterativo, calcolando i fattori di sicurezza rispetto all'equilibrio globale delle forze e dei momenti (F_f e F_m), fino ad ottenere una soddisfacente convergenza dei risultati, con la restituzione di un unico coefficiente di sicurezza FS .

Le ipotesi di calcolo e i fondamenti teorici del metodo sono diffusamente presenti in letteratura, alla quale si rimanda per un inquadramento metodologico di dettaglio.

Le ipotetiche superfici di rottura sono state fornite al programma tramite un centro di rotazione e delle condizioni di vincolo, consistenti in intervalli sulla superficie topografica che fissano le zone di immersione (in testa al rilevato) e di riaffioramento (a valle del piede della scarpata) delle superfici di scorrimento plausibili per la geometria esaminata.

L'assegnazione di un unico arbitrario centro di istantanea rotazione si motiva tenendo conto che i metodi che soddisfano sia l'equilibrio delle forze sia quello dei momenti sono molto poco sensibili nei confronti della posizione del centro dei momenti.

Il software sottopone a verifica tutta la famiglia di superfici cinematicamente compatibili con le condizioni a contorno imposte, fino ad individuare la superficie di minima resistenza.

Come premesso, data la presenza in fondazione di terreni a grana fine saturi, tanto **le analisi statiche SLU A2+M2+R2 che quelle pseudostatiche SLV M1+R2** sono state condotte sia in **condizioni di lungo termine**, utilizzando i **parametri di resistenza al taglio drenati** e adottando come legame costitutivo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb in termini di **tensioni efficaci**, sia in **condizioni non drenate**, svolte in termini di **tensioni**

totali e con riferimento alla resistenza non drenata S_u del mezzo e al criterio di snervamento di Tresca.

Nello scenario sismico **SLV M2+R2** le analisi in tensioni efficaci vengono riportate per completezza, dato che, in virtù dell'elevata velocità di deformazione associata ad un processo di natura dinamica e dell'assenza, dunque, di moto relativo fra la fase fluida e lo scheletro solido, i fenomeni deformativi prodotti dal sisma nei terreni a grana fine avvengono in condizioni di drenaggio di fatto impedito (cfr. Zienkiewicz et al., 1980). L'azione sismica si svolge, dunque, in condizioni non drenate e la verifica allo SLV potrebbe condursi esclusivamente in termini di tensioni totali, con riferimento alla resistenza non drenata S_u del mezzo.

5.4 AZIONI SISMICHE

L'accertamento delle condizioni di stabilità è avvenuto anche con riferimento alle "azioni sismiche", secondo le prescrizioni contenute al §7.11.4 di NTC 2018.

Le azioni indotte dal sisma, tipicamente dinamiche, sono state simulate attraverso un insieme di forze statiche equivalenti all'azione inerziale ("metodo pseudo-statico"). Tali forze sono proporzionali, per il tramite di due coefficienti sismici k_h e $k_v = \pm 0.5k_h$, al peso della massa potenzialmente instabile delimitata dalla superficie di scorrimento. Nelle verifiche condotte con i metodi delle strisce, ai quali appartiene il metodo di Morgenstern e Price, la forza statica equivalente viene applicata al baricentro di ciascuna striscia.

In particolare, per l'azione sismica verticale, si è valutato il solo caso in cui essa sia rivolta nel senso opposto alla gravità ($k_v < 0$), visto che l'assunzione di k_v positivo conduce a risultati per lo più meno gravosi e comunque confrontabili.

Si riportano in Tabella 5.3 i valori delle principali grandezze sismiche ricavate dalla caratterizzazione di pericolosità sismica del sito relativamente al periodo di ritorno T_R associato allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile e per il caso dei rilevati.

Classe	Stato limite	V_N	C_U	V_R	P_{VR}	T_R	a_g	S_S	S_T	S	a_{max}	β_s	$k_{h,s}$	$k_{v,s}$
-	-	anni	-	anni	-	anni	g	-	-	-	g	-	-	-
IV	SLV	50	2.0	100	10%	949	0.288	1.124	1.0	1.124	0.323	0.38	0.123	-0.061

Tabella 5.3 – Parametri sismici.

dove:

- o V_N vita nominale;
- o C_U coefficiente d'uso;
- o V_R vita di riferimento;

- P_{VR} probabilità di superamento nel periodo di riferimento;
- a_g accelerazione sismica massima attesa di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- S_T coefficiente di amplificazione topografica;
- $S = S_s \cdot S_T$;
- $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$;
- β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $k_{h,s}$ coefficiente pseudostatico orizzontale per fronti di scavo;
- $k_{v,s}$ coefficiente pseudostatico verticale per fronti di scavo.

I dati tabulati si riferiscono ad un suolo di categoria stratigrafica B, in accordo con le valutazioni contenute nella "Relazione Sismica", e ad un'amplificazione topografica di tipo T1, assunta in considerazione della topografia suborizzontale dell'area.

In definitiva nelle verifiche si sono adottati i coefficienti pseudostatici $k_{h,s} = 0.123$ e $k_{v,s} = -0.061$.

5.5 MODELLO GEOTECNICO

A partire dai valori dei parametri indicati al §4, nelle verifiche si sono in definitiva adottate le caratteristiche geotecniche riassunte Tabella 5.4.

Vengono riportati, in funzione dello stato limite preso in esame, tanto i valori caratteristici X_k delle proprietà del terreno che i valori di progetto X_d .

Unità	Descrizione	γ (kN/m ³)	Criterio	STABILITÀ GLOBALE					
				SLU A2+M2+R2			SLV M1+R2		
				c'_d (kPa)	ϕ'_d (°)	$S_{u,d}$ (kPa)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	$S_{u,k}$ (kPa)
RIL	Rilevato	19.0	Mohr Coulomb	0	29.3	-	0	35	-
BONIFICA	Bonifica	19.0	Mohr Coulomb	0	29.3	-	0	35	-
FMA	Flysch Marnoso- Arenaceo	23.0	Mohr Coulomb	80	29.3	-	100	35	-
AL	Depositi alluvionali	19.0	Mohr Coulomb	0	26.6	-	0	32	-

Unità	Descrizione	γ (kN/m ³)	Criterio	STABILITÀ GLOBALE					
				SLU A2+M2+R2			SLV M1+R2		
				c'_d (kPa)	ϕ'_d (°)	$S_{u,d}$ (kPa)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)	$S_{u,k}$ (kPa)
CL	Depositi di versante	20.0	Mohr Coulomb	4	18.8	42.9	5	23	60

Tabella 5.4 – Caratteristiche geotecniche (valori caratteristici X_k e di progetto X_d).

Per la stratigrafia di calcolo e per l'ubicazione della superficie piezometrica si rimanda alla Figura 4.2 di pag.7.

5.6 CARICHI

Le verifiche includono la presenza dei carichi accidentali da traffico in testa al rilevato, schematizzati attraverso un sovraccarico distribuito di valore caratteristico $\Delta q_k = 20 \text{ kPa}$.

In Tabella 5.5 vengono riassunti il valore caratteristico Δq_k e di progetto Δq_d del sovraccarico considerato nelle analisi.

Carico	Δq_k (kPa)	Tipo	Δq_d (kPa)	
			SLU A2+M2+R2	SLV M1+R2
Accidentale	20	Variabile	26	4

Tabella 5.5 - Sovraccarichi: valori caratteristici Δq_k e di progetto Δq_d .

Relativamente alle verifiche SLU, l'intensità caratteristica del carico è stata opportunamente amplificata nelle analisi secondo il coefficiente parziale per azioni variabili sfavorevoli $\gamma_{Qi} = 1.3$ per la combinazione statica SLU A2+M2+R2, senza tener conto, invece, di un coefficiente di combinazione ψ_{0i} con le altre azioni, coerentemente con la combinazione "fondamentale" delle azioni di cui al §2.5.3 di NTC2018.

Per quanto attiene le verifiche sismiche SLV M2+R1, invece, coerentemente con la combinazione "sismica" delle azioni riportata al §2.5.3 di NTC2018, l'azione accidentale viene presa col suo valore caratteristico, riducendone il valore, però, a mezzo del coefficiente di combinazione ψ_{2i} , il quale evita che la struttura venga impegnata dalla contestuale applicazione di carichi di natura evidentemente accidentale con bassa probabilità di occorrenza simultanea.

E' utile ricordare che per strutture "sensibili" quali i ponti in zona urbana di intenso traffico, la normativa indica al §5.1.3.12 un valore di ψ_{2i} pari a 0.2 per i carichi dovuti

al transito dei mezzi: in considerazione di quanto sopra, si è ritenuto tale valore definitivamente rappresentativo anche per le analisi in oggetto.

5.7 RISULTATI DELLE ANALISI

I risultati delle verifiche di stabilità sono riassunti nella Tabella 5.6.

Di seguito vengono allegate le figure di output delle verifiche, in cui sono riportati i risultati delle analisi in termini di superficie critica, coefficienti di sicurezza FS e curve di livello (“isoasfaliche”) dei coefficienti di sicurezza sulla griglia dei centri delle superfici circolari analizzate.

Per maggiori dettagli, si rimanda alla consultazione dei tabulati di calcolo allegati in calce al documento.

Combinazione di carico	Combinazione di carico	Condizioni di drenaggio	Tensioni	Fattore di sicurezza calcolato FS	Fattore di sicurezza richiesto FS min	Esito verifica
1	Statica SLU A2+M2+R2	CD	TE	1.137	1.1	ok
2	Statica SLU A2+M2+R2	CU	TT	1.262	1.1	ok
3	Sismica SLV M1+R2	CD	TE	1.221	1.2	ok
4	Sismica SLV M1+R2	CU	TT	1.352	1.2	ok

Tabella 5.6 – Rilevati: risultati delle analisi di stabilità.

A sintesi dei risultati ottenuti si osserva che il coefficiente di sicurezza calcolato risulta maggiore o uguale agli standard di sicurezza imposti dalla normativa di riferimento ($FS_{adm}=\gamma_R=1.10$ in condizioni SLU, $FS_{adm}=\gamma_R=1.20$ in condizioni SLV) e che, perciò, è assicurata la stabilità geotecnica delle opere. A movimenti che fanno riferimento a potenziali superfici di rottura diverse da quelle graficate nelle figure di output competono fattori di sicurezza più elevati.

Relazione geotecnica sui rilevati

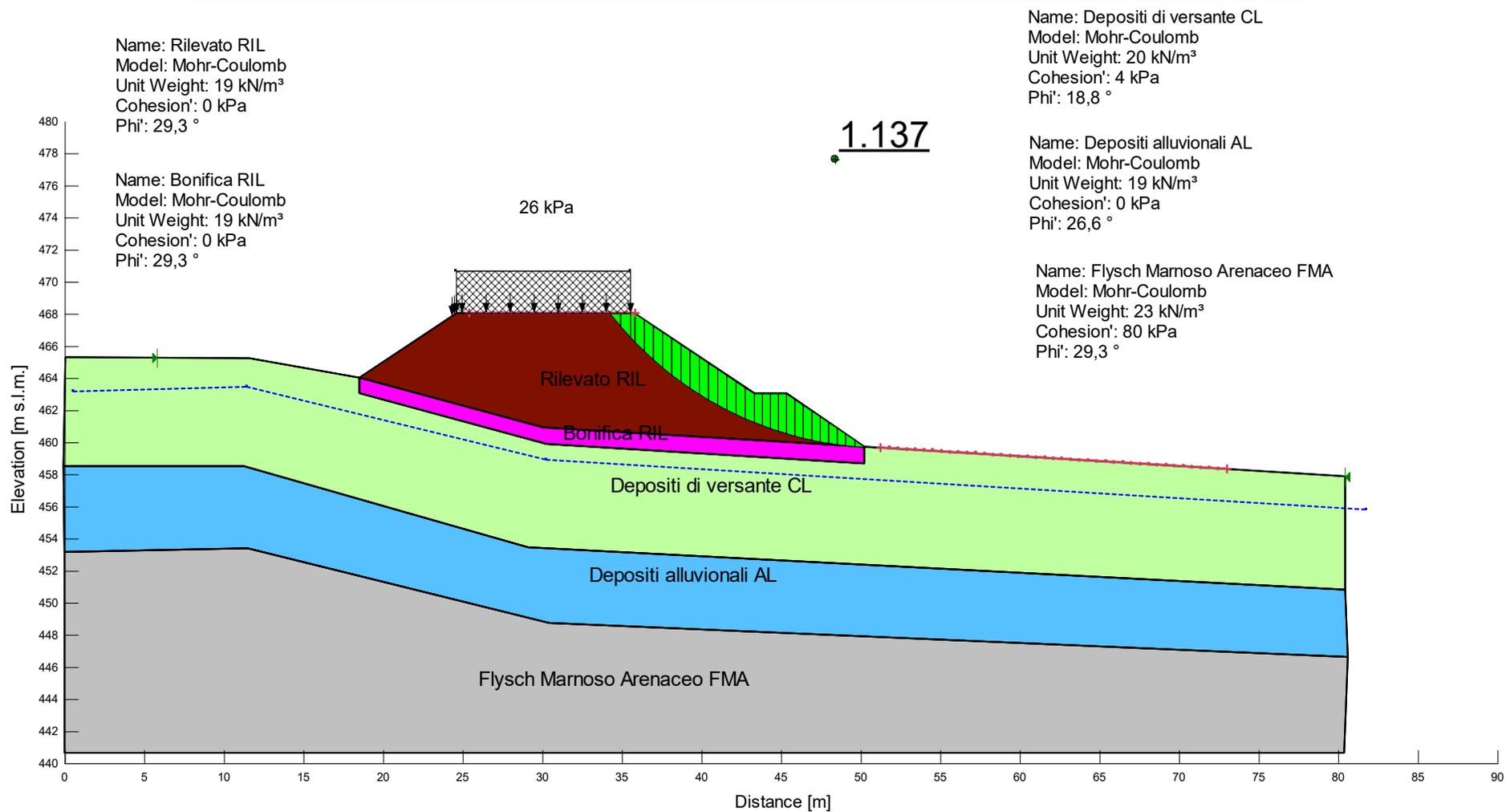


Figura 5.1 – Analisi 1, verifica statica SLU A2+M2+R2, CD.

Relazione geotecnica sui rilevati

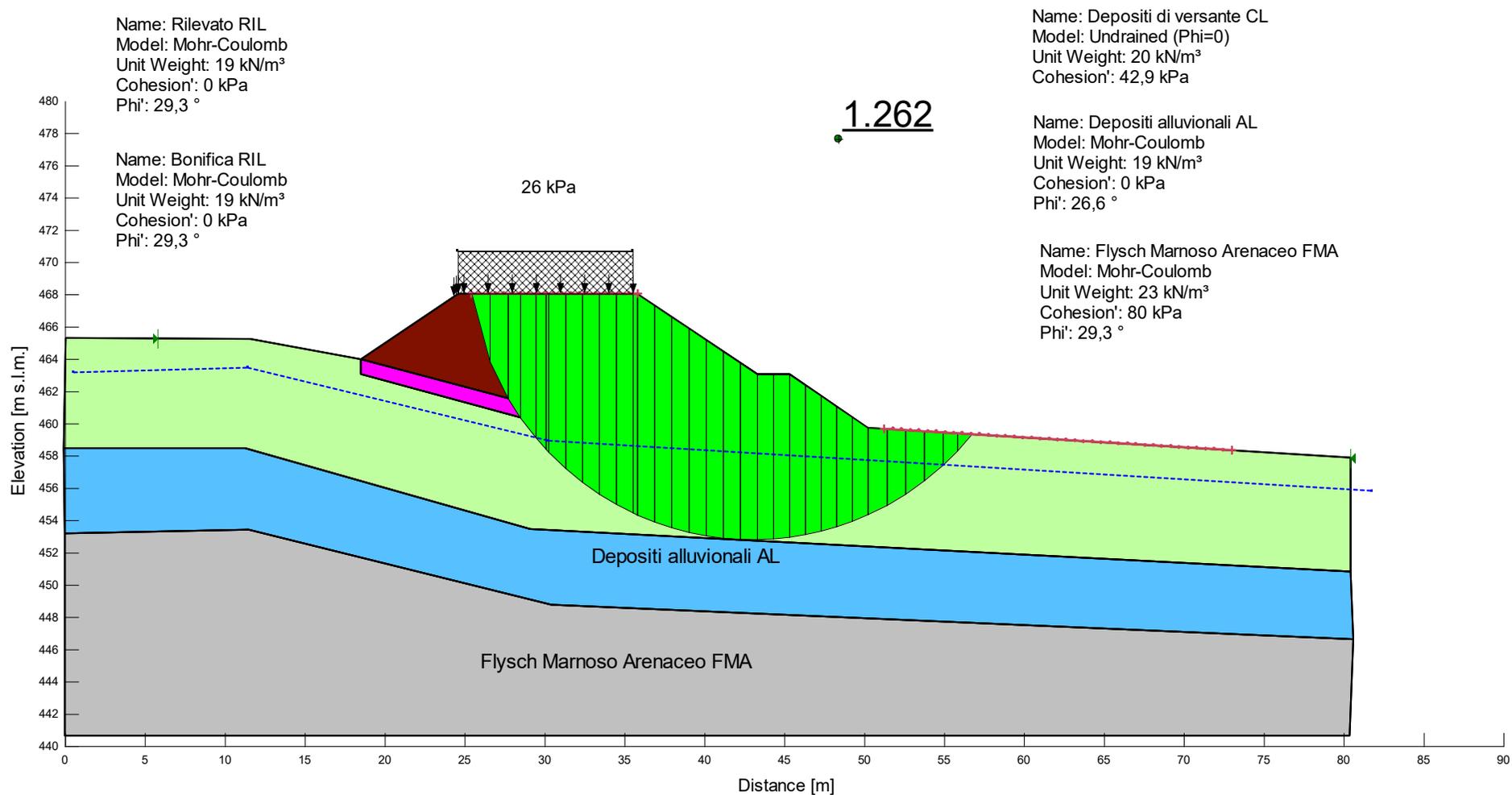


Figura 5.2 – Analisi 2, verifica statica SLU A2+M2+R2, CU.

Relazione geotecnica sui rilevati

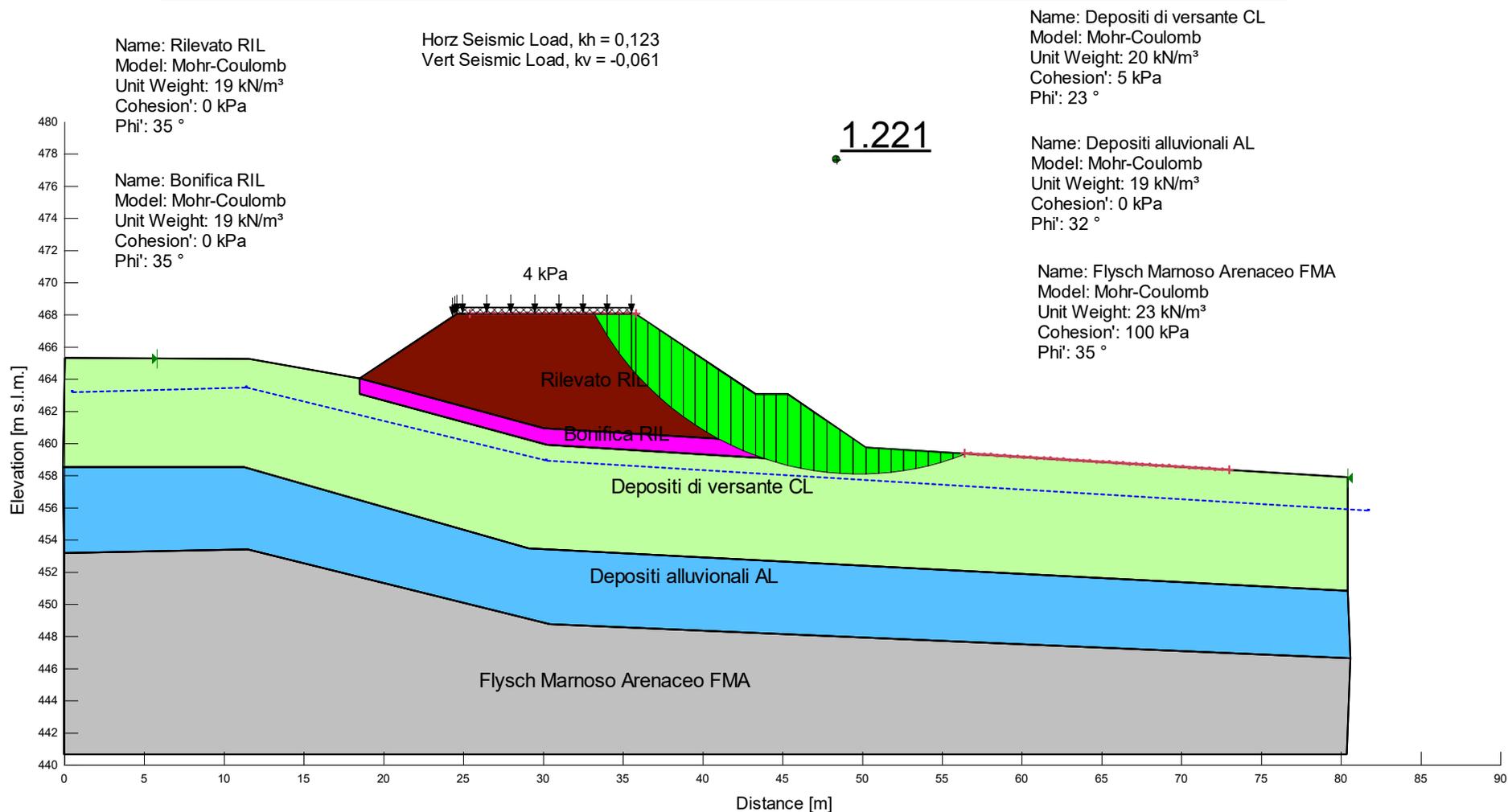


Figura 5.3 – Analisi 3, verifica sismica SLV M1+R2, CD.

Relazione geotecnica sui rilevati

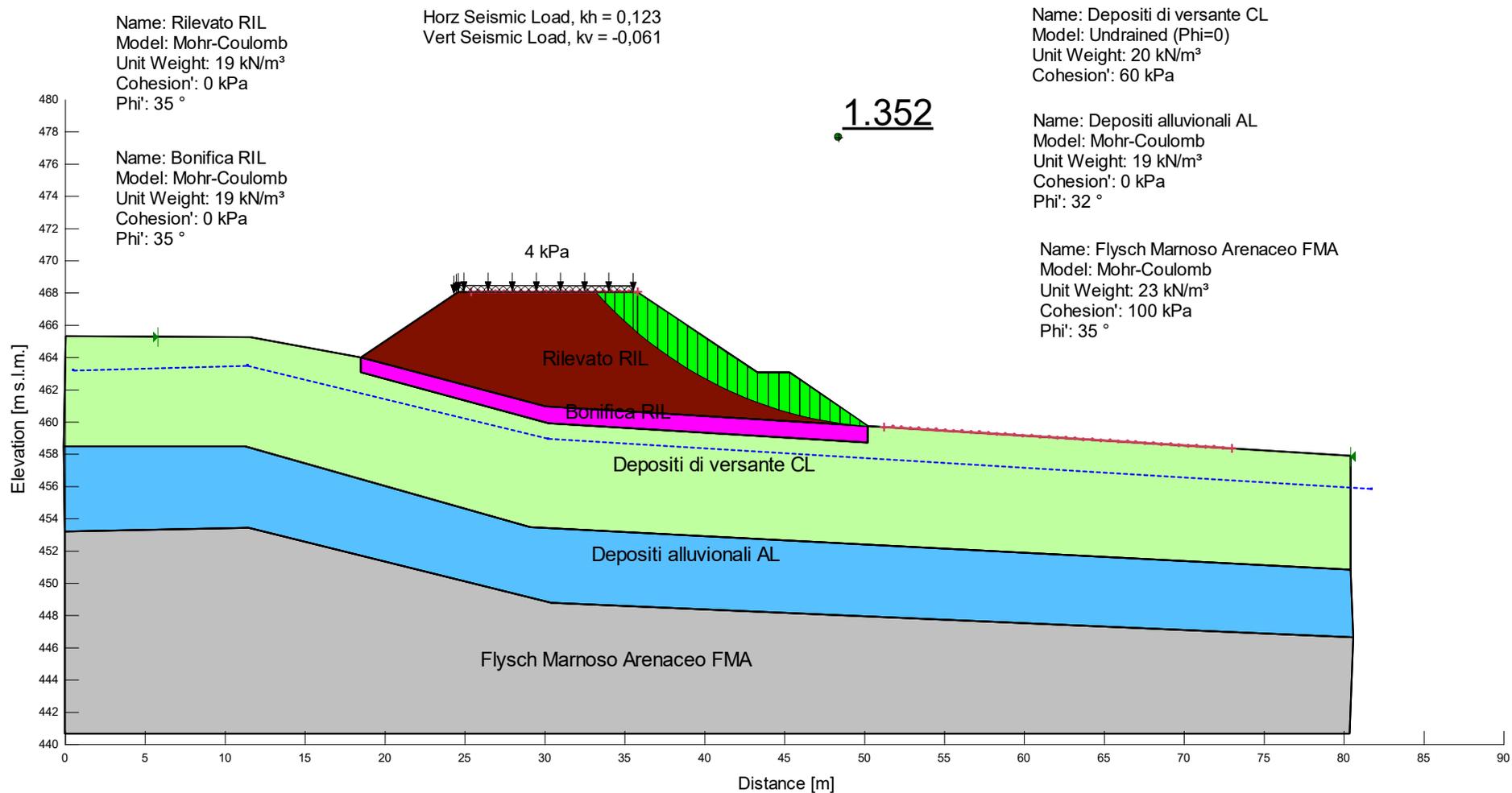


Figura 5.4 – Analisi 4, verifica sismica SLV M1+R2, CU.

6. ANALISI DEI CEDIMENTI

Il presente capitolo illustra i risultati delle verifiche svolte allo scopo di prevedere il comportamento in esercizio del complesso rilevato-terreno nel corso dell'intera sequenza realizzativa e a seguito dell'apertura al traffico dell'infrastruttura.

Più in particolare, gli obiettivi sui quali verrà concentrata l'attenzione risiedono nella valutazione dei cedimenti assoluti e differenziali, per verificarne la compatibilità con i requisiti di funzionalità del manufatto.

Per le verifiche geotecniche sono state eseguite analisi numeriche agli elementi finiti FEM.

6.1 APPROCCIO NORMATIVO

Le analisi sono state eseguite nel rispetto delle prescrizioni di cui ai §§6.2.4.3 e 6.8.3 di NTC2018.

Detto C_d , il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni ed E_d il valore di progetto dell'effetto delle azioni, deve risultare:

$$C_d \geq E_d$$

Le verifiche degli stati limite di esercizio sono effettuate con riferimento ai valori caratteristici delle azioni (F_k) e dei parametri di deformabilità del terreno (X_k), ovvero senza applicazione di coefficienti di sicurezza.

6.2 CRITERI DI VERIFICA

Le analisi di cedimento vengono eseguite relativamente alle sole condizioni statiche.

Per le opere in materiali sciolti non esistono indicazioni chiare in letteratura geotecnica circa i valori ammissibili di cedimento.

Come limiti di accettabilità del cedimento assoluto residuo da scontare da parte del rilevato, una volta terminati i lavori e a seguito dell'apertura al traffico, in accordo con le prescrizioni di capitolato si assume che esso non sia superiore al 10% del cedimento teorico a fine consolidazione e che, comunque, risulti inferiore al valore di $C_{d,ass} = w_{adm,ass} = 5.0\text{cm}$.

I limiti di accettabilità del cedimento ammissibile differenziale vengono fissati in funzione della distorsione angolare β_{max} .

$$\text{Si adotta } C_{d,diff} = \beta_{max,adm} = 1/300 = 0.0033$$

È da notare che tale valore è da ritenersi particolarmente conservativo per opere in terra.

Lancellotta (1987) e Viggiani (2003), infatti, riportano tale valore come soglia limite analizzando i risultati di uno studio pubblicato da MacDonald e Skempton (1956) su 98 edifici, su strutture, dunque, assai più sensibili ai cedimenti differenziali rispetto a costruzioni in materiali sciolti.

Anche in relazione ai cedimenti assoluti, è molto più documentato il caso di opere in c.a..

Relazione geotecnica sui rilevati

Lancellotta (1987) riporta, ad esempio, per fondazioni a platea su terreno coesivo valori ammissibili valutati in corrispondenza di una rotazione relativa $\beta = 1/500$ pari a 7.0cm (Grant et al., 1974).

Burland et alii (1977) hanno mostrato che strutture su platee impostate su terreni a grana fine hanno tollerato anche cedimenti di 25.0cm.

Lancellotta (1987) conclude, dunque, che i limiti per fondazioni a platea su terreni coesivi possano elevarsi almeno ai valori proposti da Skempton e Mc Donald (1956), pari a 10.0cm.

In base al diagramma di Figura 6.1 (Viggiani, 2003), pur nella limitazione dei dati disponibili, si noti che rispettando contemporaneamente le due condizioni $w_{max} \leq 5.0cm$ e $\beta_{max} \leq 1/300$, in pratica non sono mai stati osservati danni (i danni sono rappresentati dai punti pieni) per strutture in c.a., assai più sensibili rispetto ai rilevati di progetto.

Si vuole rimarcare, in definitiva, come i suddetti valori di soglia risultino particolarmente conservativi.

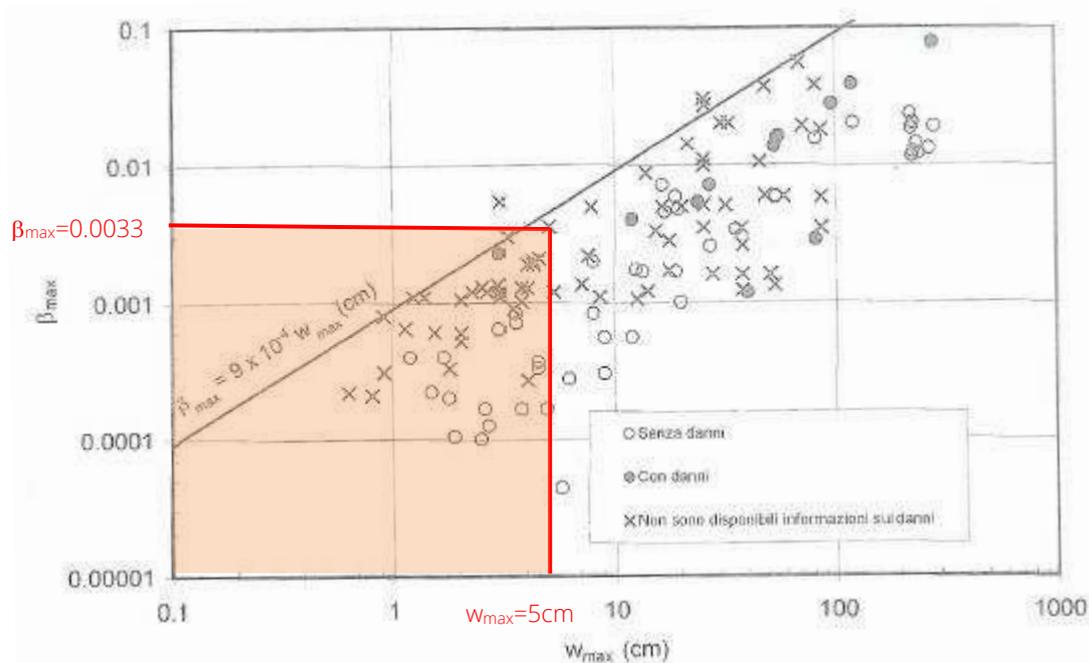


Figura 6.1 – Correlazione distorsione massima β_{max} vs cedimento assoluto w_{max} (Viggiani, 2003).

6.3 METODO DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO

L'analisi numerica è stata svolta in condizioni di deformazioni piane con il codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS 2D, utilizzando un approccio in tensioni efficaci.

Il codice di calcolo implementa svariate leggi costitutive che permettono di modellare il comportamento tensio-deformativo non lineare del terreno a livelli di complessità progressivamente crescente.

Relazione geotecnica sui rilevati

Nell'analisi ad elementi finiti, il continuo è stato discretizzato in elementi di forma triangolare a n.15 nodi, creati da un generatore di mesh non strutturata.

Tali elementi forniscono un'interpolazione del quarto ordine per gli spostamenti e l'integrazione numerica coinvolge 12 punti di Gauss (stress points).

Per ulteriori informazioni, si rimanda ai manuali del codice di calcolo Plaxis ed alle pubblicazioni dedicate (Schanz et al. 1999).

Sono previste zone di infittimento in prossimità delle aree sensibili (al di sotto del rilevato) e zone a discretizzazione rada in corrispondenza della frontiera del dominio, in modo da ottimizzare le prestazioni della mesh.

In merito alle condizioni al contorno, alla base del modello numerico gli spostamenti verticali e orizzontali sono impediti, ai contorni laterali del dominio di meshing i nodi sono vincolati in direzione orizzontale, mentre gli spostamenti verticali sono liberi.

La mesh adottata viene rappresentata nella seguente figura.

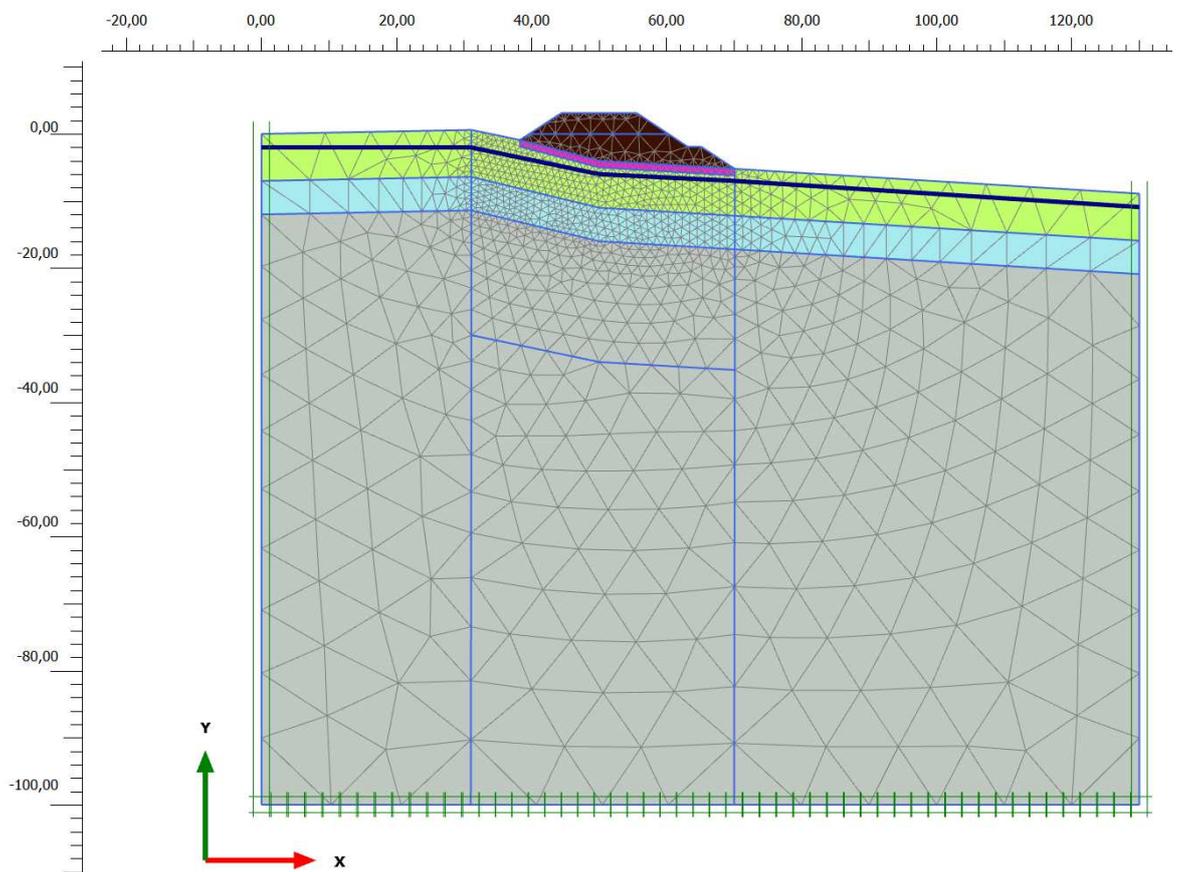


Figura 6.2: Mesh di calcolo.

L'analisi è stata condotta tenendo conto delle seguenti fasi:

Relazione geotecnica sui rilevati

- Phase 0, "INITIAL PHASE": configurazione iniziale e stato tensionale iniziale con procedura "gravity loading";
- Phase 1, "NIL STEP": step di calcolo plastico nullo per risolvere le forze squilibrate esistenti.
- Phase 2, "ESECUZIONE BONIFICA": esecuzione della bonifica (scotico 40cm + bonifica 60cm) in fondazione.
- Phase 3, "I FASE COSTRUZIONE RILEVATO": costruzione rilevato fino alla quota della berma;
- Phase 4, "CONSOLIDAZIONE": analisi di consolidazione sotto il peso proprio della parte di rilevato realizzata;
- Phase 5, "II FASE COSTRUZIONE RILEVATO": completamento costruzione rilevato fino alla quota di progetto;
- Phase 6, "CONSOLIDAZIONE": analisi di consolidazione sotto il peso proprio del rilevato di progetto;
- Phase 7, "APPLICAZIONE CARICHI STRADALI (20 kPa)": attivazione carichi da traffico;
- Phase 8, "CONSOLIDAZIONE": analisi di consolidazione sotto i carichi di esercizio.

Di seguito vengono illustrate le suddette fasi relativamente ai soli step in cui avviene una modifica della configurazione geometrica/attivazione dei carichi esterni.

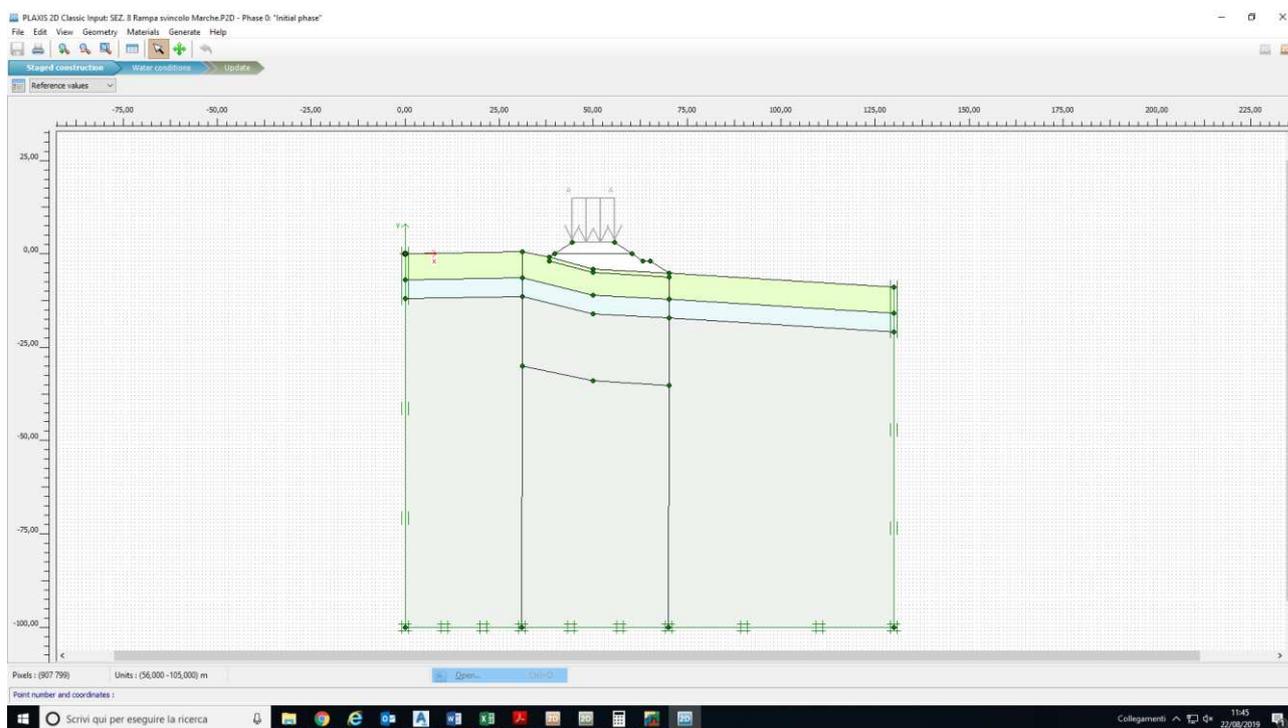


Figura 6.3 – Phase 0, 1.

Relazione geotecnica sui rilevati

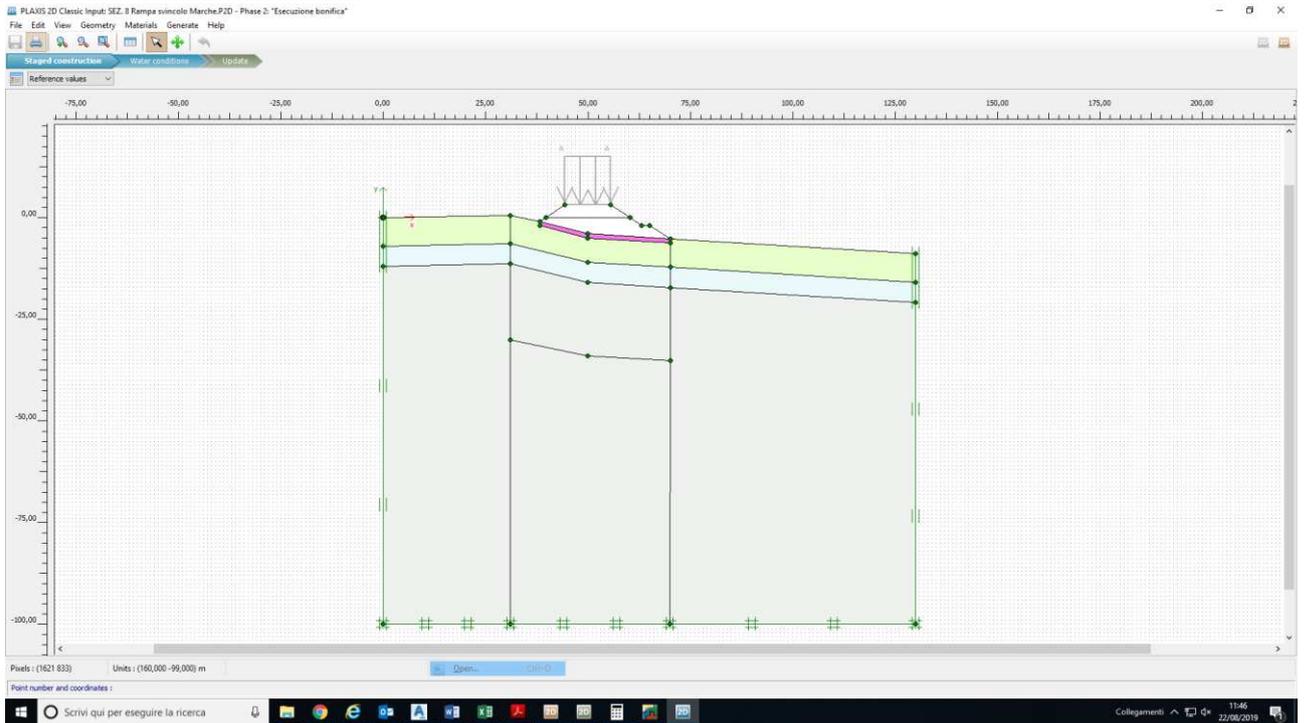


Figura 6.4 – Phase 2.

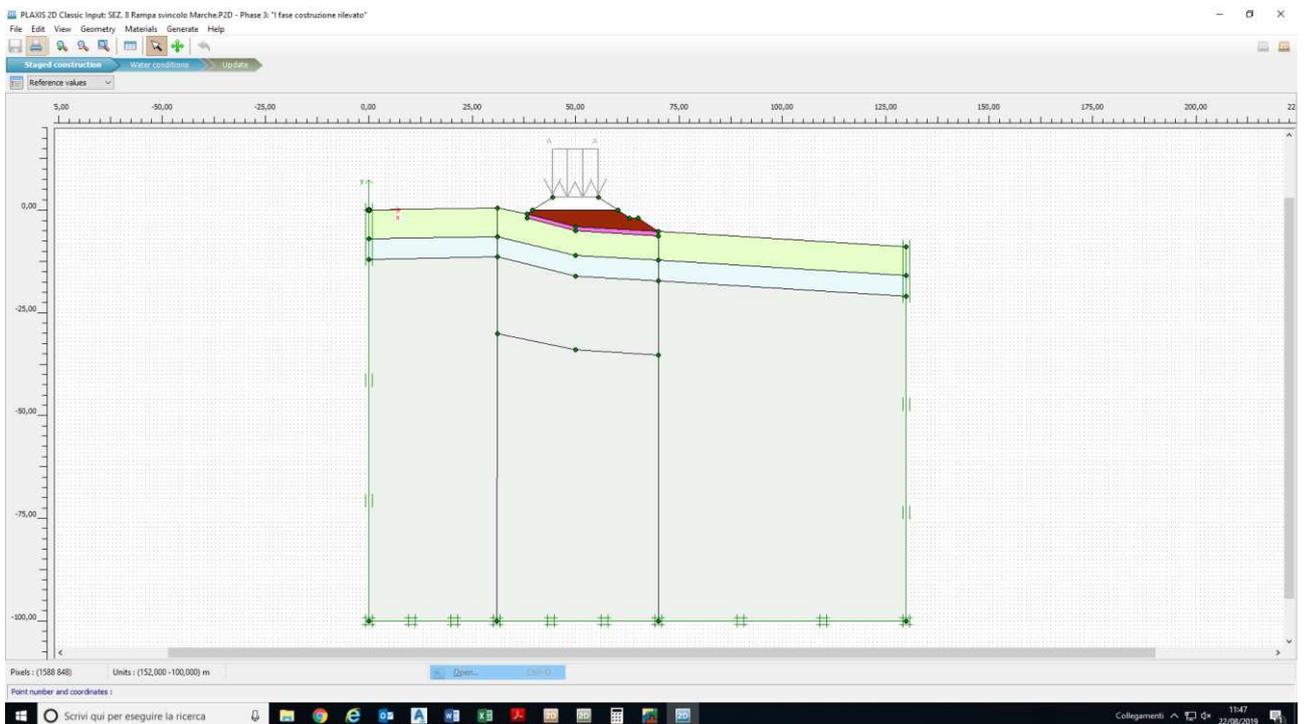


Figura 6.5 – Phase 3, 4.

Relazione geotecnica sui rilevati

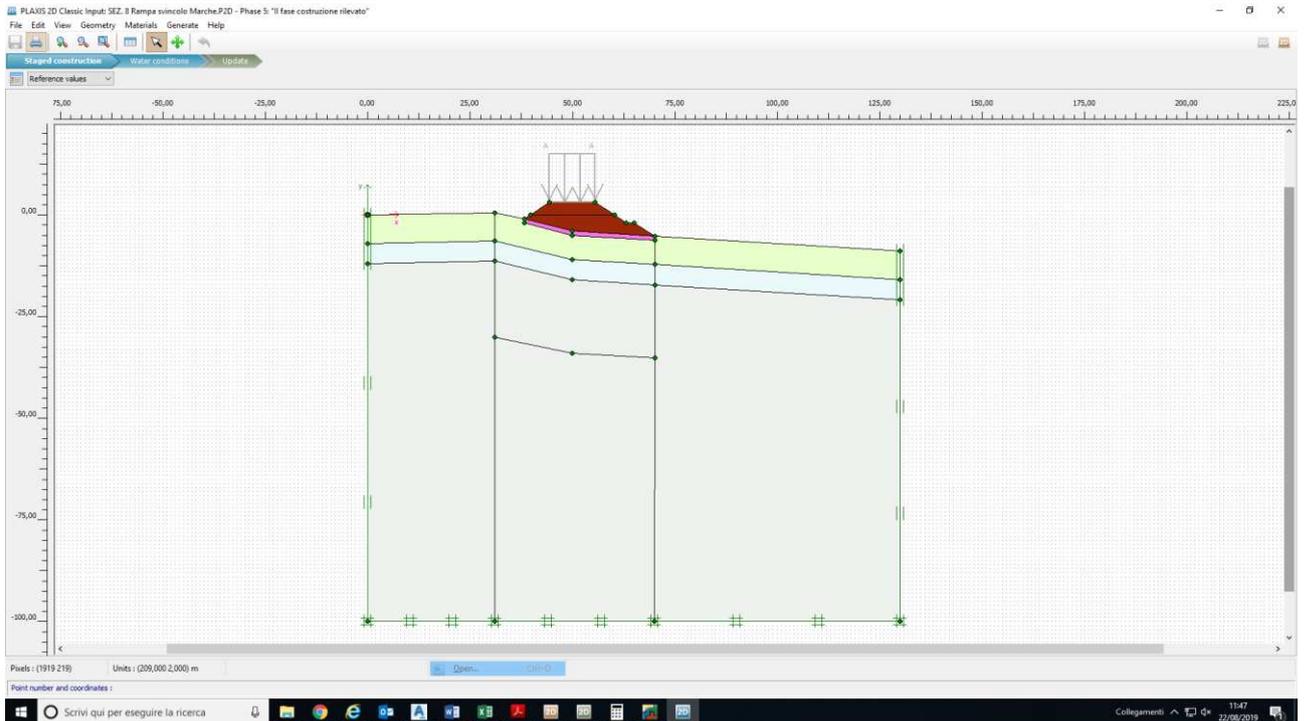


Figura 6.6 – Phase 5, 6.

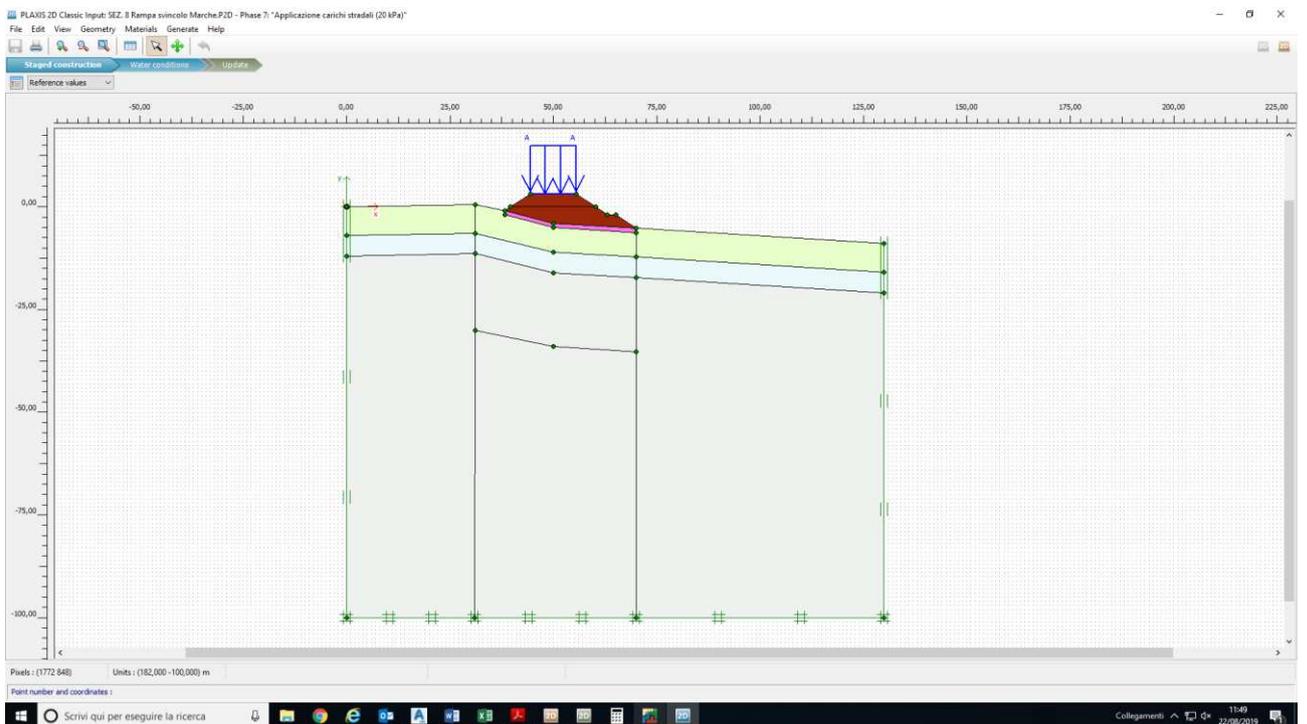


Figura 6.7 – Phase 7, 8.

Di seguito si riporta una tabella con la lista delle fasi di calcolo, con la fase iniziale di riferimento per ciascuno step di calcolo ("Start from"), con il tipo di calcolo ("Calculation", di tipo "Gravity

Relazione geotecnica sui rilevati

loading”, di progressiva applicazione della gravità; “Plastic”, per le fasi in cui viene eseguita un’analisi di deformazione elasto-plastica, in cui non sia necessario prendere in considerazione la dissipazione delle sovrappressioni neutre nel tempo, di tipo “Consolidation” per le fasi in cui è svolta un’analisi di consolidazione), le modalità di carico (“Loading input”: “Staged construction”, costruzione per fasi, in cui l’utente specifica il nuovo stato che deve essere raggiunto al termine del caricamento della fase; “Degree of consolidation”, in cui l’utente specifica il grado di consolidazione che deve essere raggiunto al termine del caricamento della fase; “Minimum pore pressure”, pressione neutra minima, che viene utilizzata per specificare il desiderato valore finale di sovrappressione neutra), il parametro “Time”, che assume il significato di durata della corrente fase di calcolo, espressa in giorni.

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time
✓ Initial phase	0	N/A	Gravity loading	Staged construction	0,00 day
✓ Nil step	1	0	Plastic	Staged construction	0,00 day
✓ Esecuzione bonifica	2	1	Plastic	Staged construction	0,00 day
✓ I fase costruzione rilevato	3	2	Consolidation	Staged construction	10,00 day
✓ Consolidazione	4	3	Consolidation	Degree of Consolid...	51,37 day
✓ II fase costruzione rilevato	5	4	Consolidation	Staged construction	10,00 day
✓ Consolidazione	6	5	Consolidation	Degree of Consolid...	56,13 day
✓ Applicazione carichi stradali (20 kPa)	7	6	Consolidation	Staged construction	1,00 day
✓ Consolidazione	8	7	Consolidation	Minimum pore press	58,98 day

Tabella 6.1 - Lista fasi di calcolo.

Per la generazione del campo di tensioni iniziali è stata dunque utilizzata la procedura “gravity loading”, che implica la relativa generazione per progressivo incremento della gravità.

Tenuto conto che le deformazioni dovute alla procedura “gravity loading” non hanno alcun significato fisico, nella “Phase 2” è stata selezionata l’opzione “Reset displacements to zero” (azzeramento degli spostamenti), in modo che il calcolo parta da un campo di spostamenti nullo.

Analogamente, l’uso della procedura “gravity loading” con materiali non drenati condurrà alla generazione di sovrappressioni neutre non realistiche: è stata dunque selezionata l’opzione “Ignore undrained behaviour” (Ignora comportamento non drenato), che consente di ignorare il comportamento non drenato durante la fase di incremento della gravità, durante il quale il comportamento di tutti i clusters non drenati è considerato drenato.

Le fasi “Consolidation - Staged construction” prevedono la consolidazione ed un simultaneo carico, inteso come modifica dei carichi o della configurazione geometrica. Per tali fasi è necessario specificare il valore del parametro “Time”.

La durata delle fasi di consolidazione “Degree of consolidation” e “Minimum pore pressure” riportata in Tabella 6.1, invece, è ovviamente un risultato del calcolo.

Le analisi di consolidazione seguenti gli step di costruzione del rilevato (Phase 4 e 6) vengono eseguite utilizzando l’opzione “Degree of consolidation” ed impostando il valore del grado di consolidazione U , inteso come rapporto fra le pressioni neutre in eccesso dissipate rispetto alle sovrappressioni neutre iniziali immediatamente dopo l’applicazione del carico, al 90%.

Relazione geotecnica sui rilevati

L'analisi di consolidazione seguente l'apertura al traffico della strada (Phase 8) viene eseguita utilizzando invece l'opzione "Minimum pore pressure".

Impostando tale opzione, il processo di consolidazione viene protratto finché tutti i valori nodali delle sovrappressioni neutre non siano diminuiti al di sotto di un certo valore massimo, specificato dal parametro " $P-stop$ ".

Nel caso in esame si è adottato il valore di sovrappressione neutra massima $P-stop=1\text{kPa}$.

Si noti che il parametro $P-stop$ è espresso in valore assoluto e si applica sia a pressioni positive che a pressioni negative.

Nelle analisi di consolidazione viene ovviamente ignorato il parametro "Material type" (drenato o non drenato) specificato tra le caratteristiche dei materiali.

6.4 PARAMETRI DI CALCOLO E MODELLI COSTITUTIVI

Nelle seguenti figure e tabelle sono riportati i principali parametri meccanici impiegati nelle analisi numeriche.

I terreni a grana fine del TERRENO CL sono stati modellati come "non drenati", in modo da simulare la relativa generazione di sovrappressioni neutre. Tale condizione è legata alla bassa permeabilità dei terreni e/o all'elevata velocità di applicazione dei carichi.

La formazione marnoso-arenacea (TERRENO FMA), virtualmente impermeabile per la preponderante presenza della componente pelitica che non permette la formazione di orizzonti idrici significativamente in rete, viene modellata come materiale a comportamento non poroso ("Non-porous behaviour"): in esso non vengono considerate né pressioni neutre iniziali né sovrappressioni neutre.

I restanti materiali, di natura incoerente, sono stati modellati come "drenati".

Per modellare il comportamento meccanico dei terreni è stato utilizzato il criterio di rottura lineare Mohr-Coulomb, definito attraverso l'angolo di resistenza al taglio ϕ' e la coesione efficace c' .

Relazione geotecnica sui rilevati

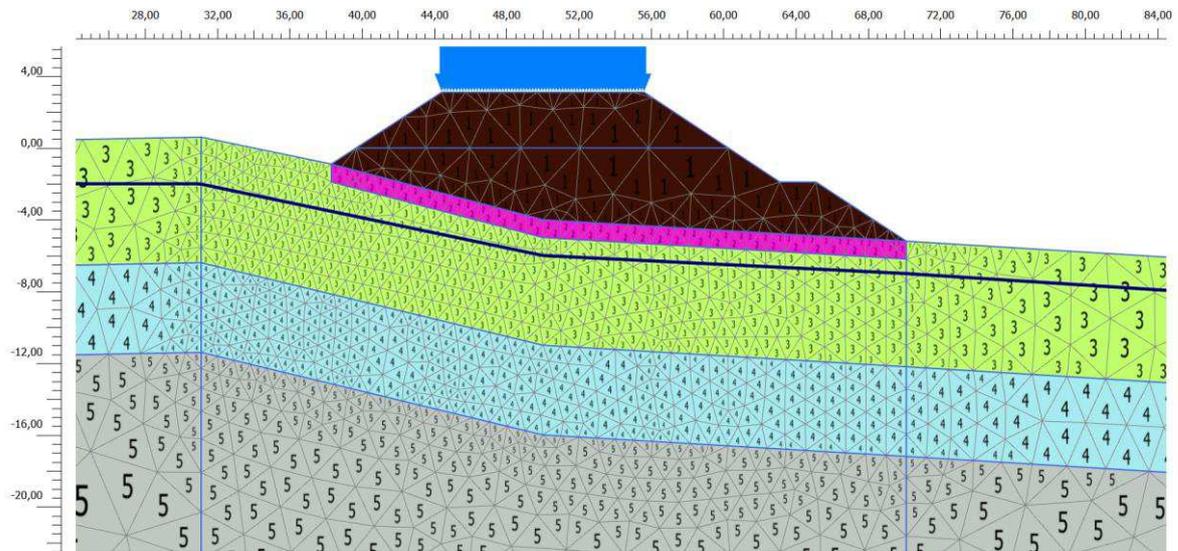


Figura 6.8 – Materiali.

Identification		RILEVATO	BONIFICA	CL	AL	FMA
Identification number		1	2	3	4	5
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Undrained (A)	Non-porous
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	19,00	19,00	20,00	19,00	23,00
γ_{sat}	kN/m ³	19,00	19,00	20,00	19,00	23,00
E	kN/m ²	50,00E3	50,00E3	7500	25,00E3	500,0E3
ν (nu)		0,2500	0,2500	0,3000	0,2500	0,2500
c_{ref}	kN/m ²	1,000	1,000	5,000	1,000	100,0
ϕ (phi)	°	35,00	35,00	23,00	32,00	35,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,4264	0,4264	0,6093	0,4701	0,4264
k_x	m/day	8,640	8,640	0,8640E-3	0,8640	0,000
k_y	m/day	8,640	8,640	0,8640E-3	0,8640	0,000

Tabella 6.2 Parametri geotecnici dei terreni con modello costitutivo "Mohr-Coulomb".

6.5 CARICHI DI PROGETTO

Per tener conto delle azioni dovute al traffico veicolare, si è considerato un valore caratteristico del sovraccarico agente pari a $\Delta q_k = 20 \text{ kPa}$, uniformemente distribuito sul sedime stradale.

L'attivazione dei carichi da traffico avviene nell'ambito della Phase 7, "APPLICAZIONE CARICHI STRADALI".

Coerentemente con quanto espresso al §6.1, le analisi di cedimento sono effettuate con riferimento al valore caratteristico del carico stradale.

6.6 RISULTATI DELLE ANALISI

Di seguito si analizzano i risultati sia da un punto di vista generale, sia con maggior dettaglio relativamente alle fasi più critiche per i cedimenti, in particolare:

- Phase 6, "CONSOLIDAZIONE": finalizzata a fornire informazioni circa gli spostamenti "immediati" in condizioni di esercizio SLE a fine costruzione;
- Phase 7, "APPLICAZIONE CARICHI STRADALI (20 kPa)", finalizzata a fornire informazioni circa gli spostamenti contestuali all'applicazione dei carichi di esercizio all'apertura dell'infrastruttura;
- Phase 8, "CONSOLIDAZIONE", finalizzata a fornire informazioni circa gli spostamenti in condizioni di esercizio SLE a lungo termine LT, una volta esauritasi la consolidazione.

Si terrà conto della seguente convenzione di PLAXIS:

- $U_y > 0 \Rightarrow$ spostamenti verticali verso l'alto (i.e., "sollevamenti");
- $U_y < 0 \Rightarrow$ spostamenti verticali verso il basso (i.e., "cedimenti").

Le immagini da Figura 6.9 a Figura 6.14 mostrano i risultati delle analisi in termini di isolinee di spostamento verticale relativamente alle principali fasi di calcolo. Gli spostamenti rappresentati sono da intendersi cumulati, risultanti delle componenti di spostamento verticale di tutti i nodi al termine dello step di calcolo corrente.

Relazione geotecnica sui rilevati

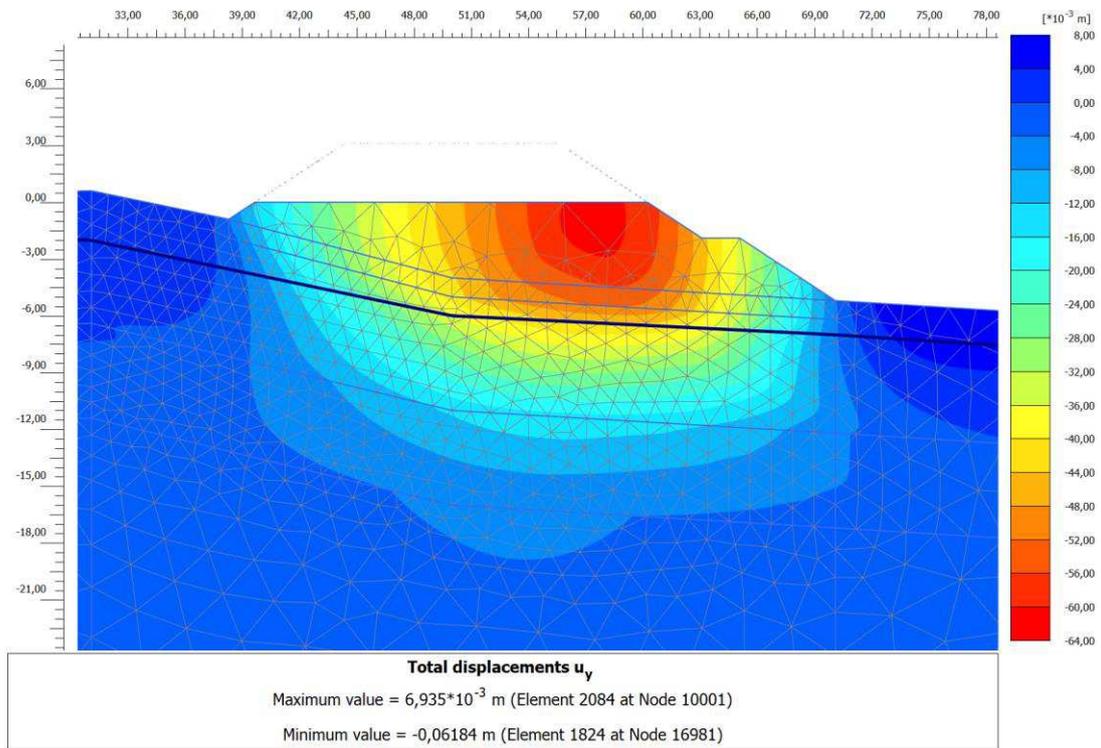


Figura 6.9 - PHASE 3: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -62mm).

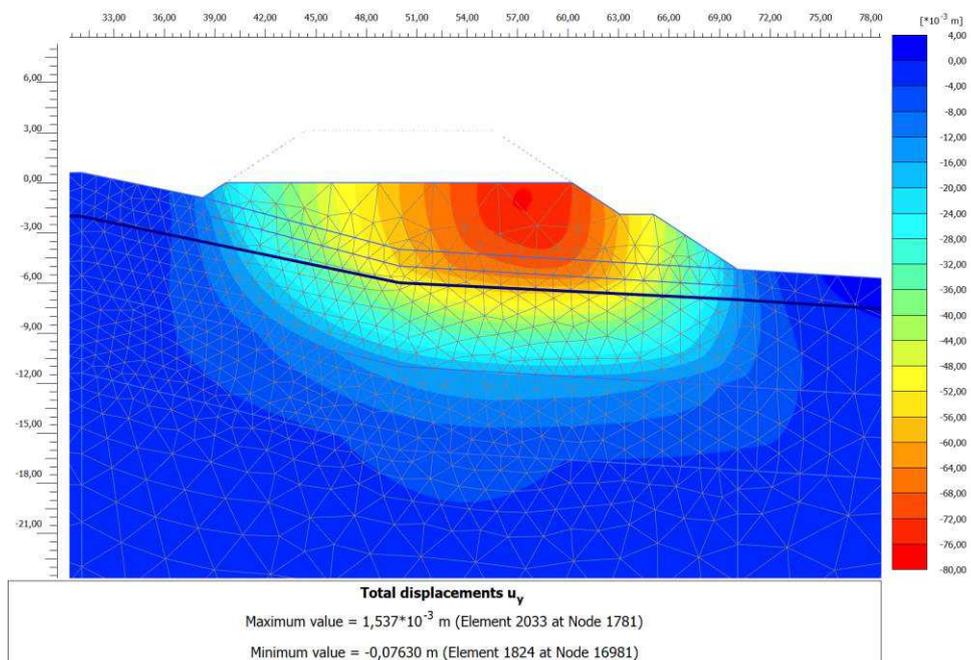


Figura 6.10 - PHASE 4: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -76mm).

Relazione geotecnica sui rilevati

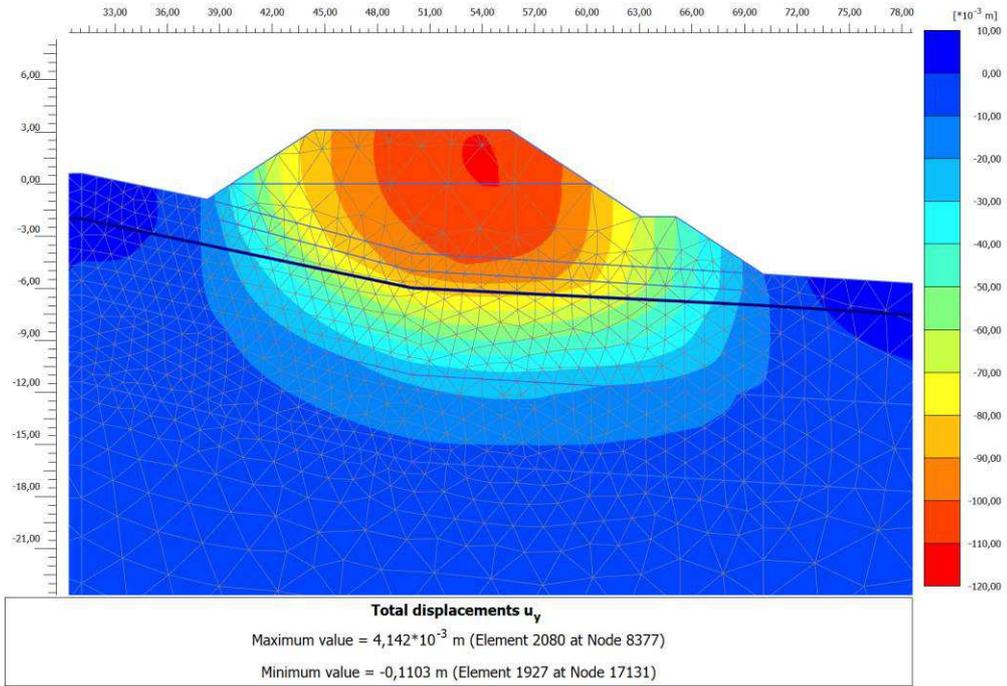


Figura 6.11 - PHASE 5: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -110mm).

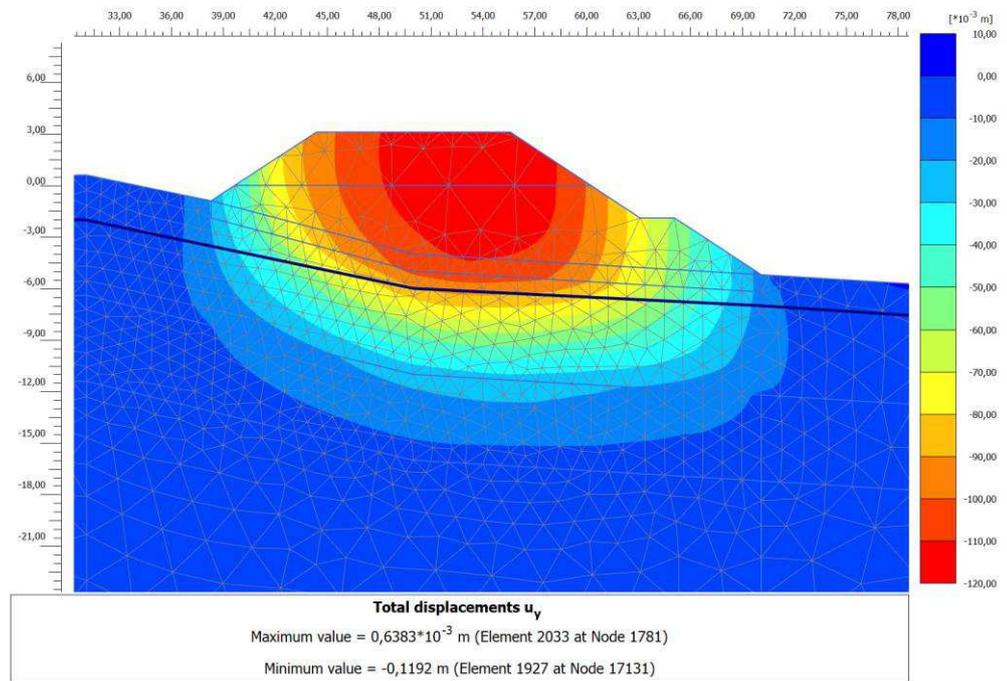


Figura 6.12 - PHASE 6: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -119mm).

Relazione geotecnica sui rilevati

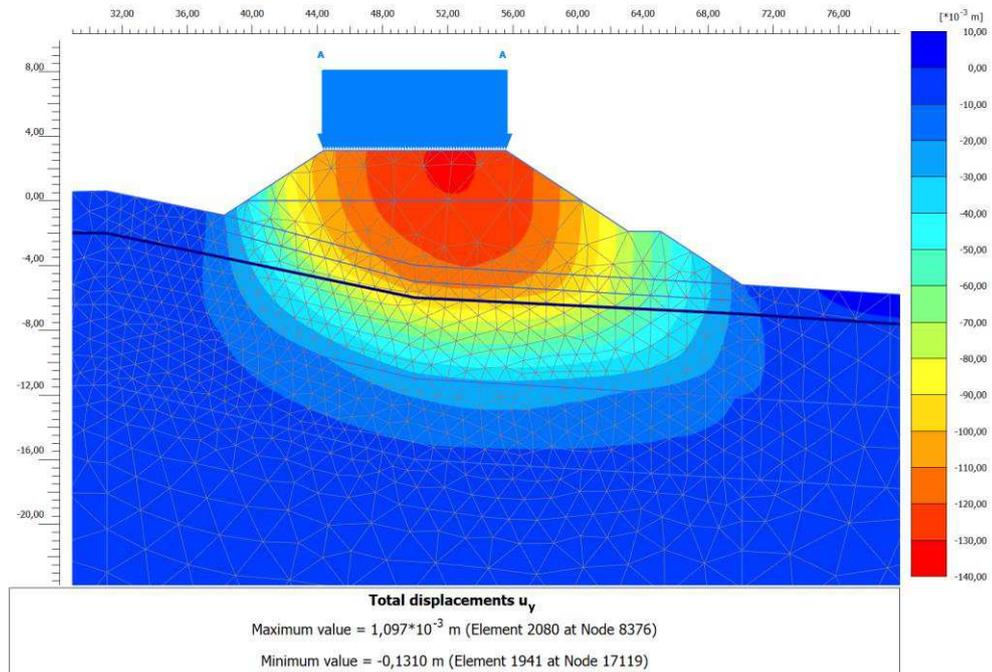


Figura 6.13 - PHASE 7: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -131mm).

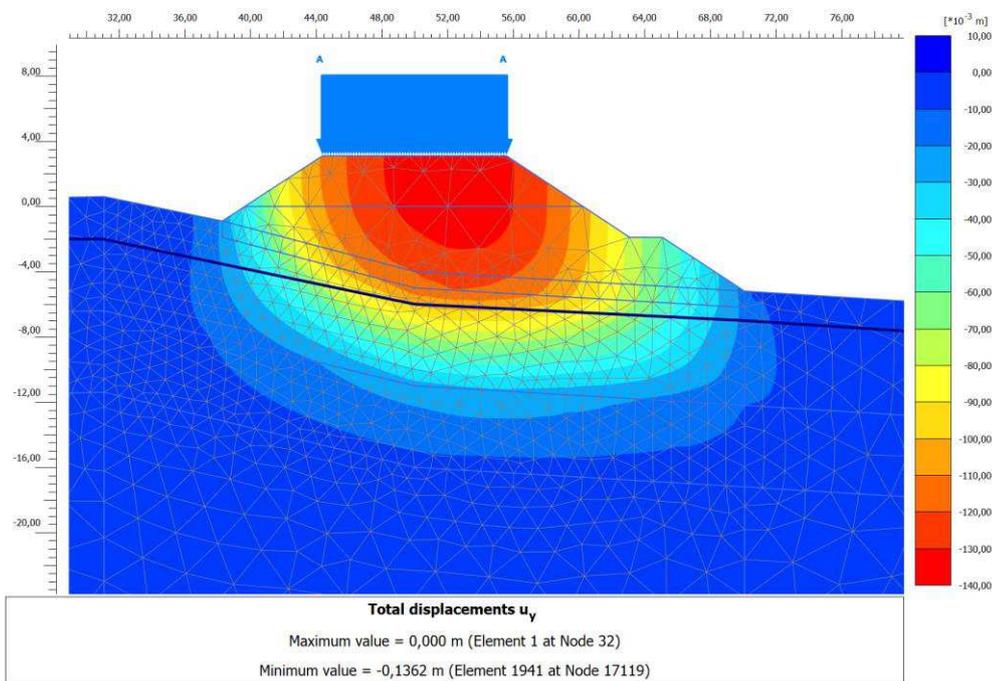


Figura 6.14 - PHASE 8: isolinee di spostamento verticale cumulato (valore max: -136mm).

Relazione geotecnica sui rilevati

Per la Phase 6, a fine costruzione del rilevato, il massimo spostamento cumulato w (<0 , è un cedimento) corrispondente al raggiungimento di un grado di consolidazione U del 90% nel terreno di fondazione risulta essere pari a 11.9cm. Tale valore identifica, dunque, i cedimenti “immediati” al termine della fase di costruzione w_i .

Per la Phase 7, a seguito dell’applicazione dei carichi stradali, il massimo spostamento cumulato w (<0 , è un cedimento) risulta essere pari a 13.1cm.

Per la Phase 8, a seguito dell’analisi di consolidazione tale da garantire la pressoché totale dissipazione delle sovrappressioni neutre, il massimo spostamento cumulato w (<0 , è un cedimento) risulta essere pari a 13.6cm, dunque identificando i cedimenti finali $w_{fin} = w_i + w_c$, dove w_c rappresenta i cedimenti di consolidazione.

Le immagini da Figura 6.15 a Figura 6.20 evidenziano gli Shadings (Gradazioni) delle Excess pore pressures (Sovrappressioni neutre), alternando l’insorgenza di pressioni in eccesso nei clusters non drenati, nelle fasi in cui vengono applicati superficialmente i carichi, alla dissipazione parziale delle sovrappressioni durante le fasi di consolidazione. Le sovrappressioni neutre Δu negative secondo la convenzione di PLAXIS sono di compressione. La Figura 6.20, in particolare, permette di verificare che a seguito dello step di consolidazione finale (Phase 8) le sovrappressioni neutre $\Delta u < 0$ risultano ovunque dissipate (risulta una sovrappressione massima di 0.88kPa, inferiore al valore massimo $P - stop = 1\text{kPa}$).

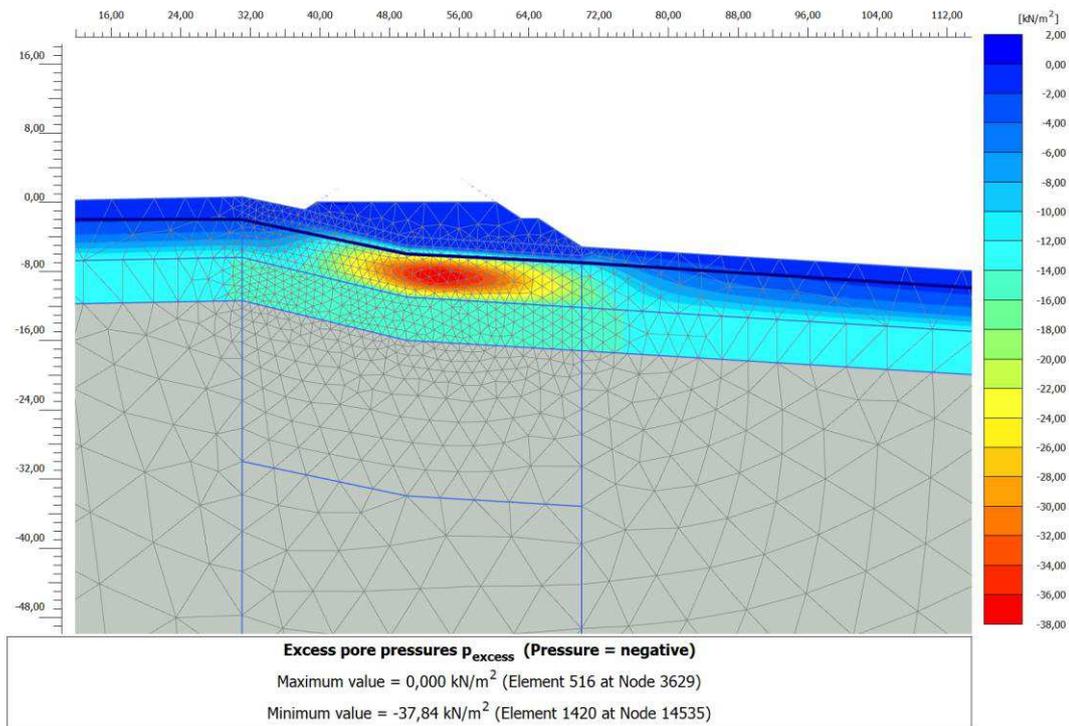


Figura 6.15 - PHASE 3: pressioni neutre in eccesso (valore max: 38kPa).

Relazione geotecnica sui rilevati

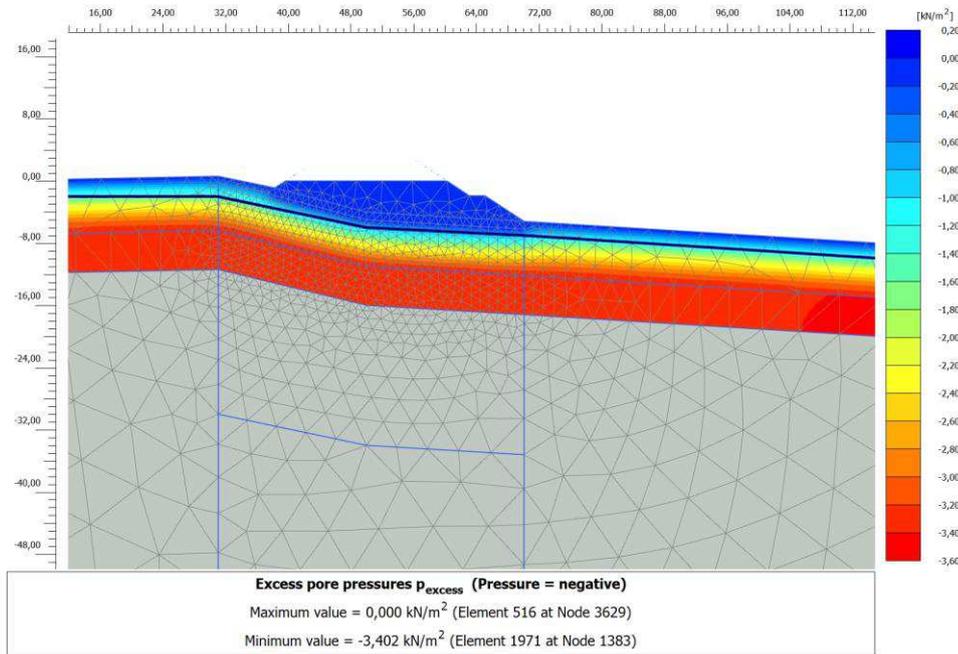


Figura 6.16 - PHASE 4: pressioni neutre in eccesso (valore max: 3kPa).

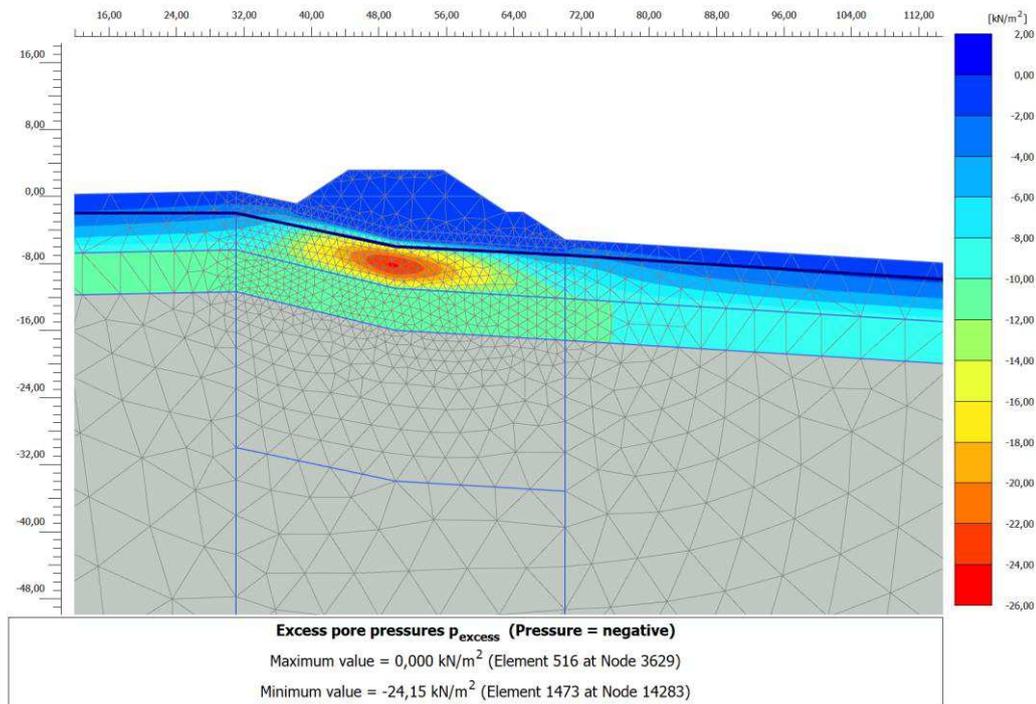


Figura 6.17 - PHASE 5: pressioni neutre in eccesso (valore max: 24kPa).

Relazione geotecnica sui rilevati

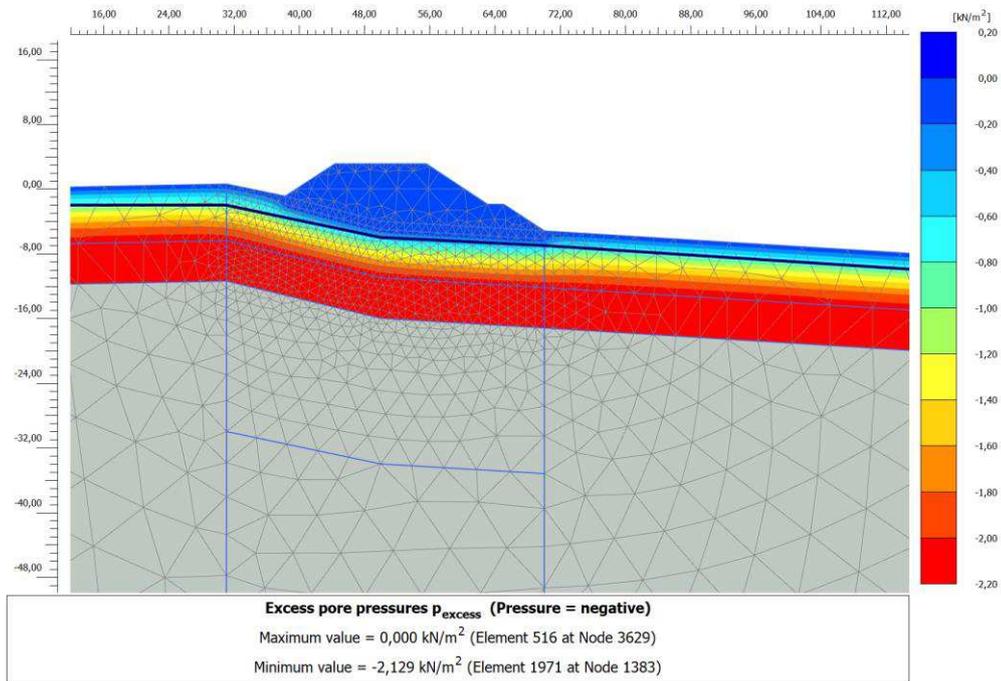


Figura 6.18 - PHASE 6: pressioni neutre in eccesso (valore max: 2kPa).

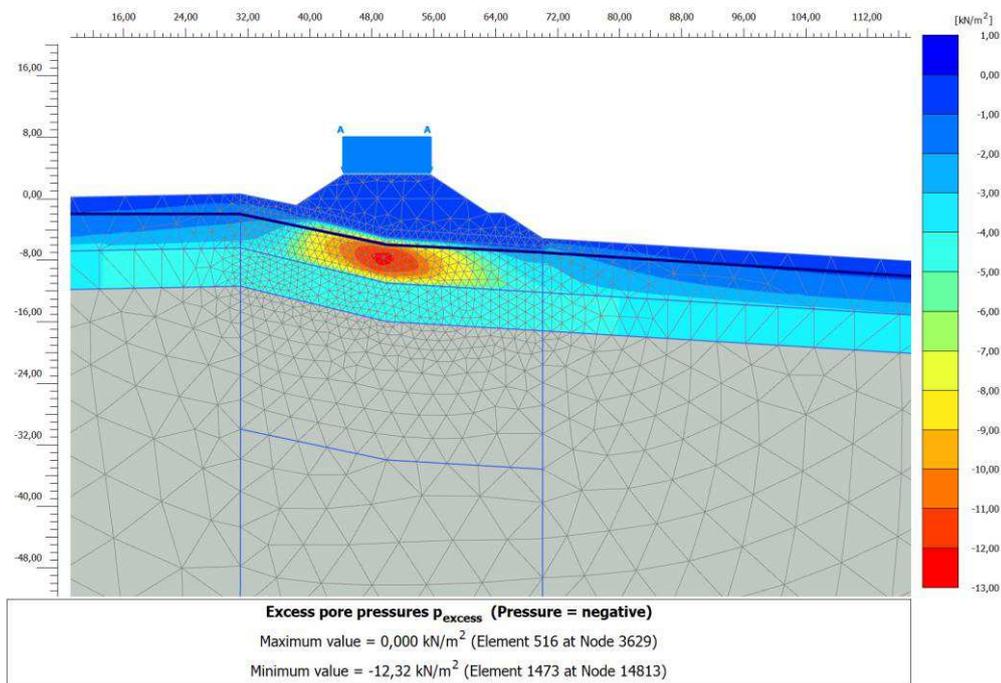


Figura 6.19 - PHASE 7: pressioni neutre in eccesso (valore max: 12kPa).

Relazione geotecnica sui rilevati

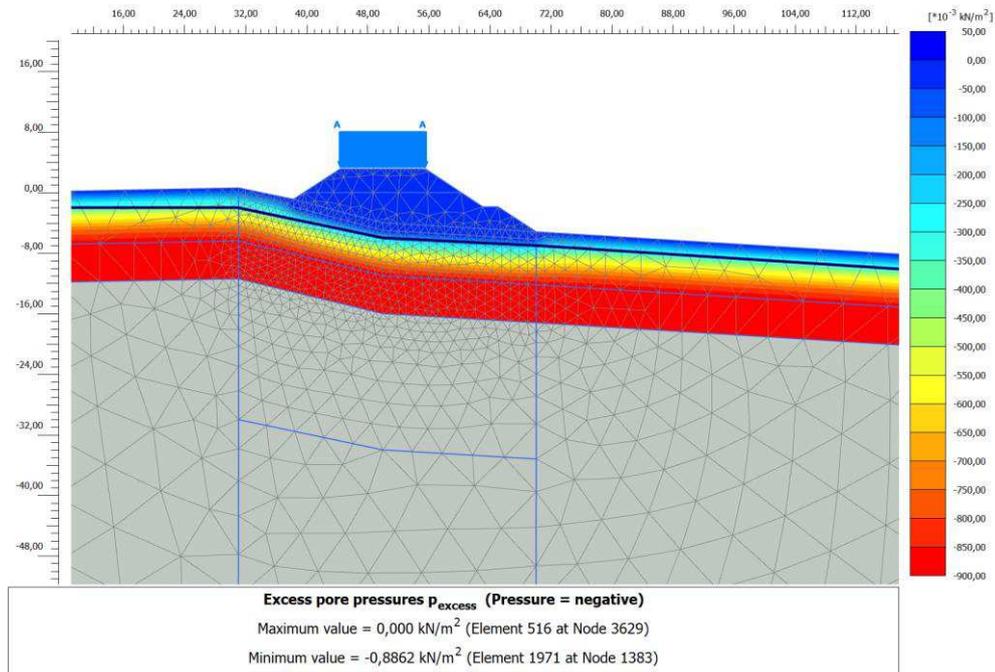


Figura 6.20 - PHASE 8: pressioni neutre in eccesso (valore max: 0.88kPa).

La Figura 6.21 riporta l'andamento nel tempo delle massime sovrappressioni neutre, evidenziando la già discussa alternanza di picchi associati agli step di carico e di decrementi correlabili alle fasi di dissipazione.

Relazione geotecnica sui rilevati

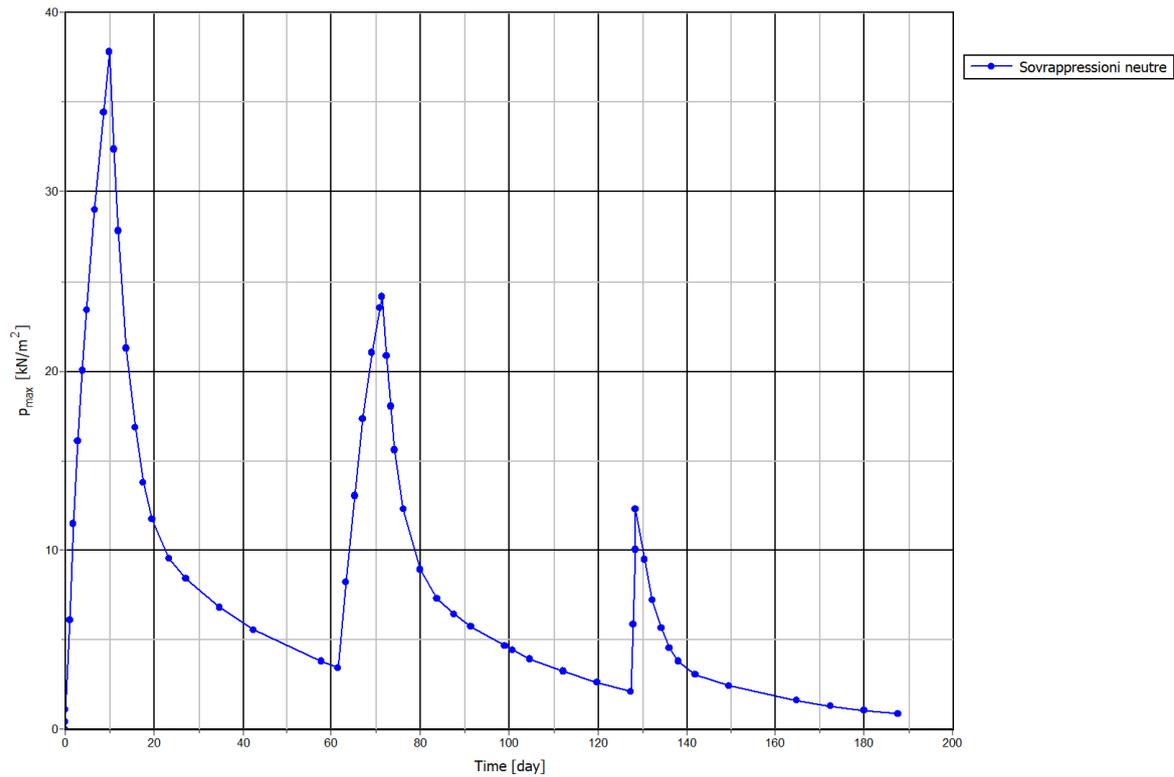


Figura 6.21 – Evoluzione temporale delle sovrappressioni neutre.

La Figura 6.22 e la Figura 6.23 mostrano rispettivamente la sezione A-B* e alcuni punti notevoli ove viene studiata l'evoluzione temporale dei cedimenti: la sezione A-B* è ubicata lungo l'intero piano di posa del rilevato, come nodi di controllo vengono selezionate le estremità del rilevato ed il nodo "16803", presso il quale vengono stimati i massimi cedimenti finali.

Si noti che i cedimenti valutati presso la sezione A-B* e i punti notevoli, senza alcuna perdita di validità, sono appena inferiori rispetto a quelli massimi restituiti dall'analisi numerica, questi individuati nella porzione sommitale del rilevato.

Relazione geotecnica sui rilevati

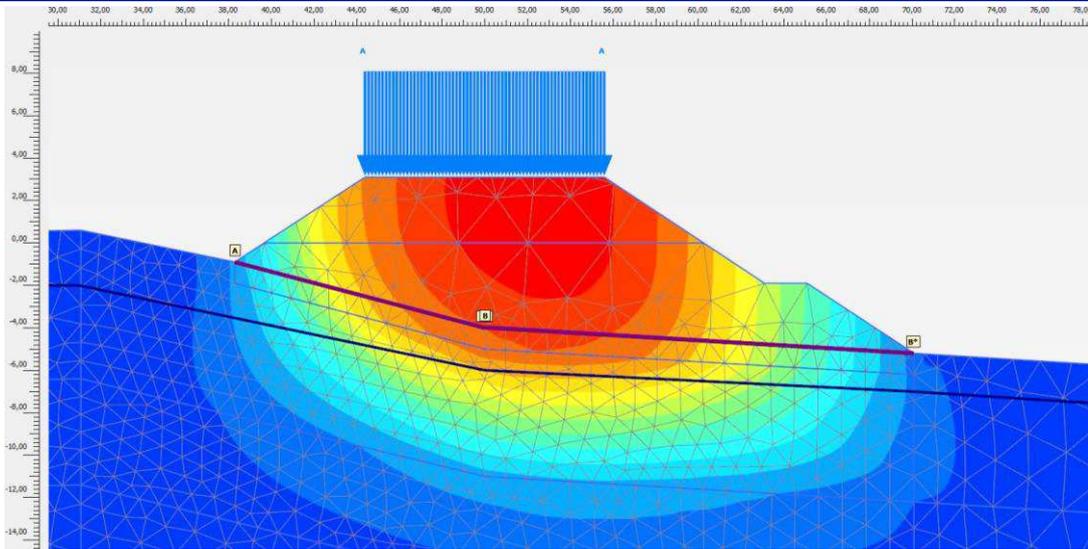


Figura 6.22 - Sezione A-B* per la valutazione dei cedimenti.

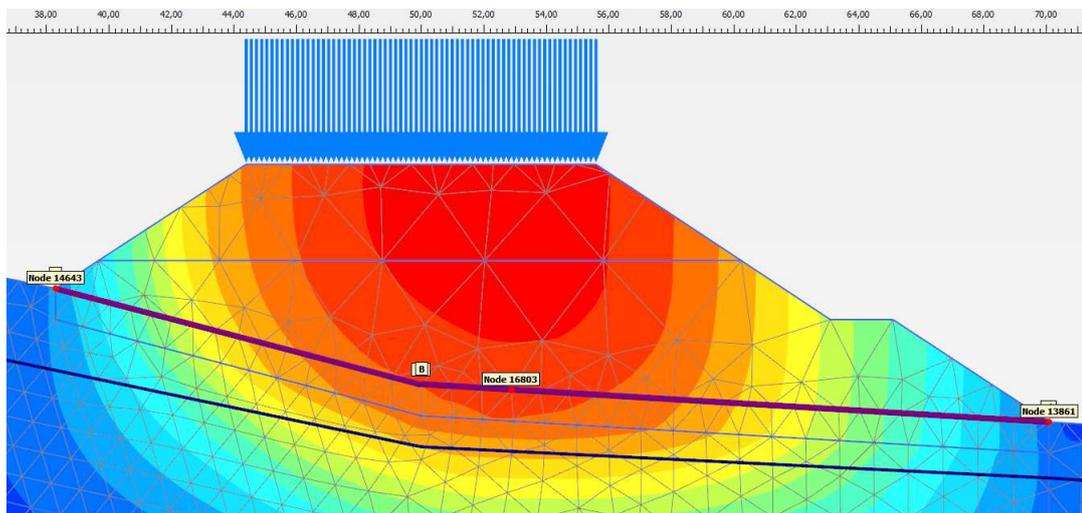


Figura 6.23 - Nodi esaminati nel calcolo dei cedimenti.

La Figura 6.24 mostra l'andamento dei cedimenti cumulati w in corrispondenza della sezione A-B* al variare delle fasi costruttive.

Le ascisse iniziali e finali del grafico fanno riferimento alle coordinate assunte dalla sezione A-B* nel modello FEM.

Relazione geotecnica sui rilevati

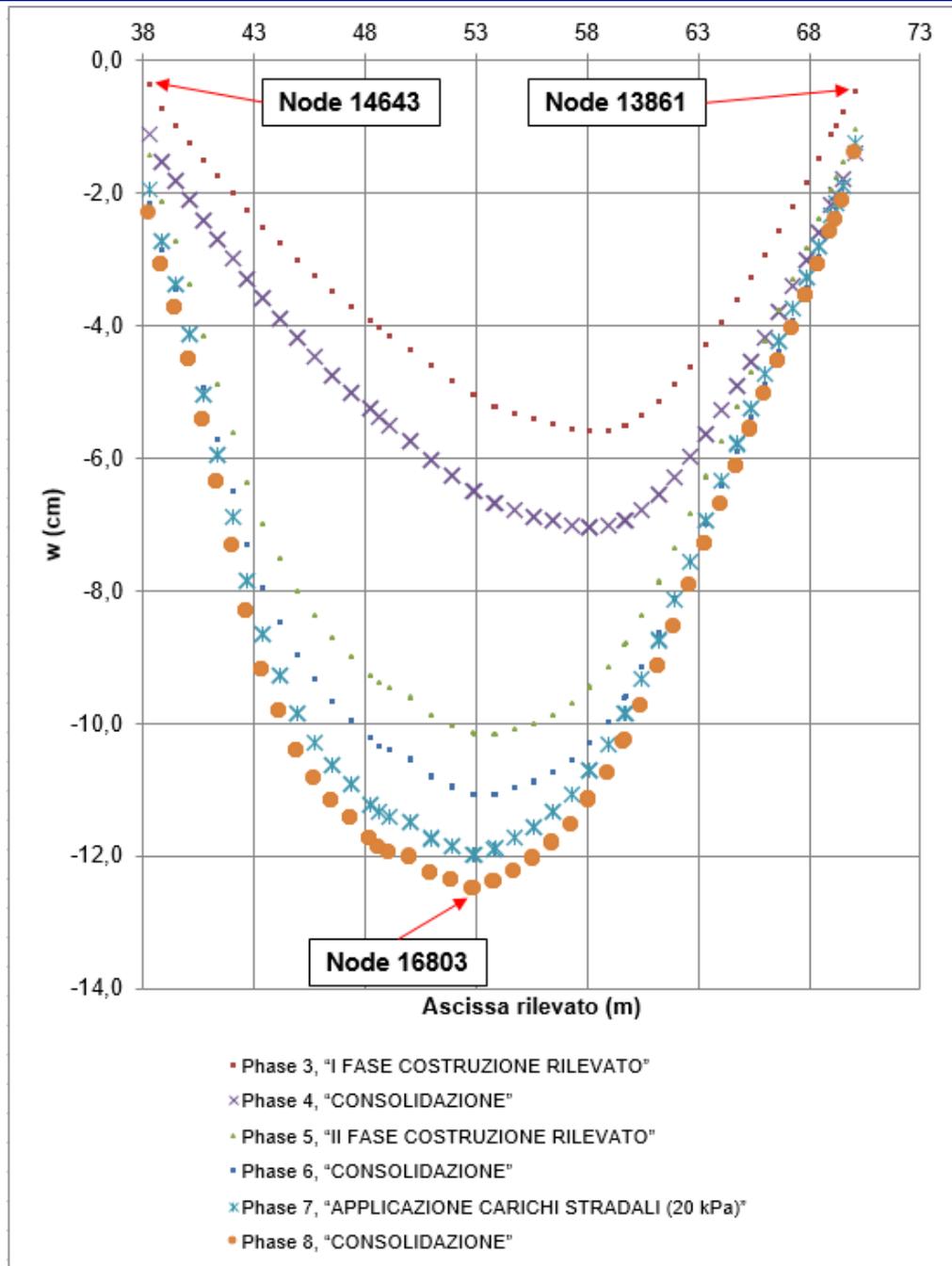


Figura 6.24 - Distribuzione spostamento verticale lungo la sezione A-B*.

Tenuto conto che i cedimenti in fase costruttiva w_i assumono scarsa rilevanza progettuale, proprio perché si verificano precedentemente alla messa in esercizio dell'opera, si può osservare che le considerazioni sull'ammissibilità o meno dei cedimenti vadano limitate alle deformazioni che si sviluppano durante la Phase 7 e la Phase 8.

Relazione geotecnica sui rilevati

La Figura 6.25 mostra, dunque, la distribuzione dei soli cedimenti di consolidazione w_c lungo la sezione A-B*, ottenuti per differenza fra i cedimenti cumulati finali $w_{fin} = w_i + w_c = w_{PHASE 8}$, con quelli “immediati” $w_i = w_{PHASE 6}$.

Si osserva come i valori calcolati per i cedimenti di consolidazione w_c siano limitati e opportunamente inferiori ai valori di soglia degli spostamenti che possono produrre il raggiungimento delle condizioni di stato limite d’esercizio per il rilevato.

In particolare, le analisi eseguite hanno evidenziato un cedimento assoluto massimo di consolidazione $w_{c,max}=1.6cm$ in corrispondenza del punto “M”, ampiamente inferiore al valore limite prefissato $w_{c,adm} = 5.0cm$ (cfr. §6.2).

Tale valore, inoltre, è in pratica pari al 10% del cedimento teorico a fine consolidazione ($10\% \cdot w_{fin} = 10\% \times 13.6cm = 1.4cm$), ed in ogni caso accettabile in relazione all’entità trascurabile.

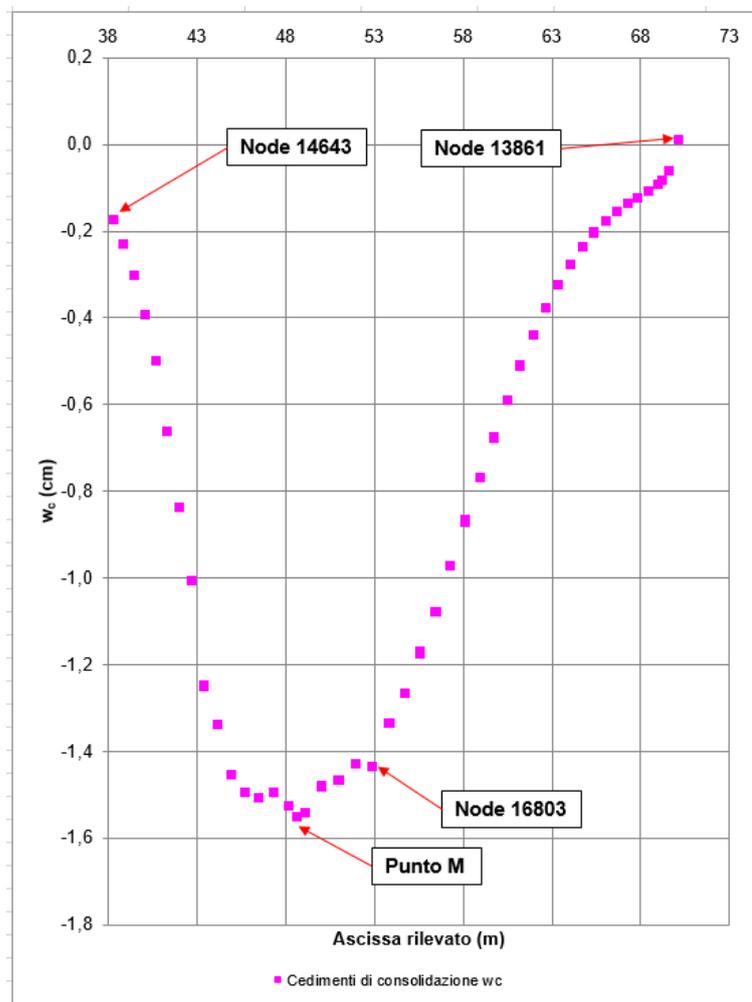


Figura 6.25 - Distribuzione cedimenti di consolidazione w_c lungo la sezione A-B*.

Relazione geotecnica sui rilevati

In Tabella 6.3 vengono riassunti i risultati in termini di cedimenti di consolidazione w_c , cedimenti differenziali δ e rotazione relativa β in corrispondenza dei punti notevoli di controllo.

Le analisi eseguite hanno evidenziato in particolare una rotazione relativa massima pari a $\beta = 0.0013$, determinata fra i punti di calcolo "Node 14643" e "M", inferiore alla distorsione angolare massima ammissibile $\beta_{max} = 0.0033 = 1/300$.

β_{adm}		0,0033		
Punto iniziale (#)	Punto finale (#)	Ascissa Punto iniziale (m)	Ascissa Punto finale (m)	distanza (m)
Node 14643	M	38,3	49,1	10,8
M	Node 13861	49,1	70,1	21,0

Punto iniziale (#)	Punto finale (#)	WPunto iniziale,FASI 7-8 (cm)	WPunto finale,FASI 7-8 (cm)	δ Punto iniziale-Punto finale,FASI 7-8 (cm)	β Punto iniziale-Punto finale,FASI 7-8 (-)	$< \beta_{adm}$ (-)
Node 14643	M	-0,17	-1,54	1,37	0,0013	ok
M	Node 13861	-1,54	0,01	1,55	0,0007	ok

Tabella 6.3 - Cedimenti di consolidazione w_c nei punti di controllo.

La Figura 6.26 analizza nel dettaglio l'evoluzione nel tempo dei cedimenti cumulati w in corrispondenza dei punti notevoli precedentemente indicati.

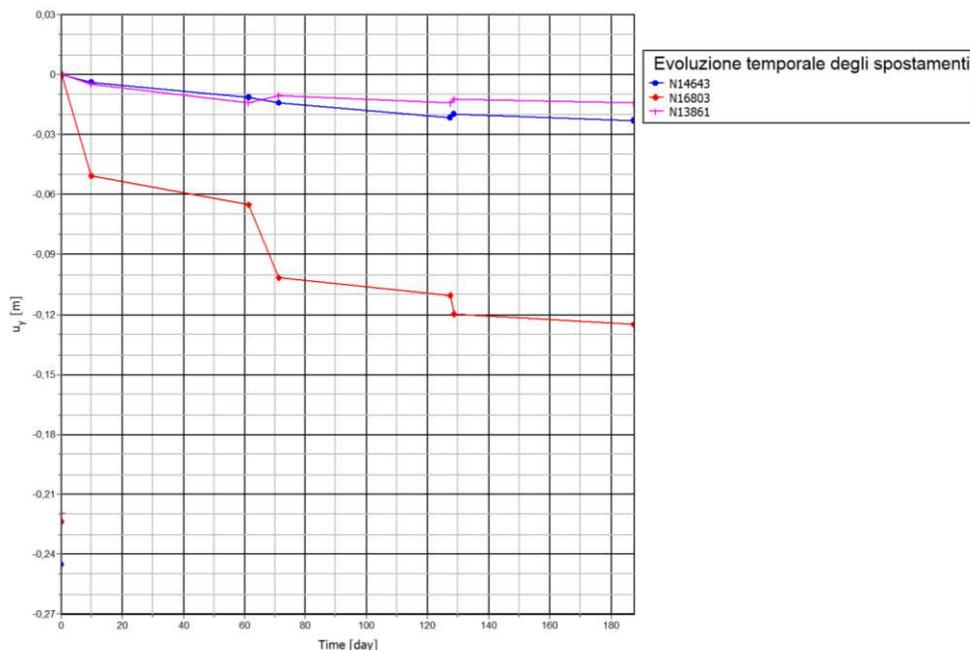


Figura 6.26 - Evoluzione temporale degli spostamenti nei nodi di controllo.

Relazione geotecnica sui rilevati

In particolare, i cedimenti che si sviluppano fino alla Phase 6 ($t=127$ gg) in corrispondenza del punto A sono i massimi cedimenti di costruzione w_i , pari a 11.1cm, come detto ininfluenti ai fini della funzionalità del nuovo rilevato.

I cedimenti ascrivibili alla Phase 7 e Phase 8 sono i cedimenti di consolidazione w_c , pari a 1.4cm, per un cedimento cumulato totale $w_{fin} = w_i + w_c$ pari a 12.5cm.

Dall'analisi risulta un tempo finale t_{fin} di 187 giorni per l'esaurimento totale dei cedimenti a partire dall'istante di inizio costruzione del rilevato.

Ne consegue che il completo esaurimento dei cedimenti di consolidazione ($w_c=1.4$ cm e sovrappressioni neutre $\Delta u < 1$ kPa) avviene in circa $t_{100}=60$ giorni a partire dall'istante di fine costruzione.

Il tempo t_{100} ricavato è certamente da ritenersi accettabile, anche in relazione alla modesta entità dei cedimenti preventivati.

In sintesi, i valori dedotti numericamente per i cedimenti assoluti e le distorsioni risultano contenuti e dilazionati in un breve intervallo temporale, idonei, dunque, a garantire i livelli di funzionalità prefissati.

Risulta, pertanto, evidente che non si hanno fenomeni deformativi che possano creare danno al manufatto.

ALLEGATO DI CALCOLO

ANALISI 1: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2, CD

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Title: [Asse5_Seiz 2](#)
Created By: [Seghetta Marco](#)
Revision Number: [104](#)
Last Edited By: [Seghetta Marco](#)
Date: [21/08/2019](#)
Time: [11:47:29](#)
File Name: [Seiz 8 Rampa Svincolo Marche_SLU CD A2+M2+R2.gsz](#)
Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-Cunicolo_Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\](#)
Last Solved Date: [21/08/2019](#)
Last Solved Time: [11:47:36](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9,807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

Lambda

Lambda 1: [-1](#)
Lambda 2: [-0,8](#)
Lambda 3: [-0,6](#)
Lambda 4: [-0,4](#)
Lambda 5: [-0,2](#)
Lambda 6: [0](#)
Lambda 7: [0,2](#)
Lambda 8: [0,4](#)
Lambda 9: [0,6](#)
Lambda 10: [0,8](#)

Relazione geotecnica sui rilevati

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Tension Crack

Tension Crack Option: (none)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0,01

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Optimization Maximum Iterations: 2.000

Optimization Convergence Tolerance: 1e-007

Starting Optimization Points: 8

Ending Optimization Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 23 kN/m³

Cohesion': 80 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Rilevato RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Depositi di versante CL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 4 kPa

Relazione geotecnica sui rilevati

Phi': 18,8 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Bonifica RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Depositi alluvionali AL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 26,6 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (25.4425, 468.0437) m

Left-Zone Right Coordinate: (35.80666, 468.0321) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (51.27059, 459.6699) m

Right-Zone Right Coordinate: (73.00392, 458.3166) m

Right-Zone Increment: 40

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (5.7852001, 465.27303) m

Right Coordinate: (80.40634, 457.8557) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0,54629	463,1785
Coordinate 2	11,44544	463,4818
Coordinate 3	30,24698	458,9341
Coordinate 4	81,77243	455,8279

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Relazione geotecnica sui rilevati

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	24,56891	470,7027
	35,52467	470,7027

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	18,54202	463,9976
Point 2	24,59493	468,0446
Point 3	35,80545	468,0329
Point 4	43,29278	463,0361
Point 5	45,31137	463,0361
Point 6	50,22134	459,7352
Point 7	30,06398	460,9525
Point 8	18,5464	463,0336
Point 9	30,23249	459,8909
Point 10	50,23448	458,686
Point 11	0,05011	465,3042
Point 12	11,6229	465,2413
Point 13	80,40634	457,8557
Point 14	80,4062	450,8208
Point 15	29,12883	453,4882
Point 16	11,23514	458,4973
Point 17	-0,05023	458,4872
Point 18	-0,01278	453,1863
Point 19	11,49711	453,4169
Point 20	30,42868	448,7627
Point 21	80,57742	446,62
Point 22	-0,0044	440,6324
Point 23	80,37615	440,6324
Point 24	24,56891	470,7027
Point 25	35,52467	470,7027

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Rilevato RIL	1,2,3,4,5,6,7	145,49

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Region 2	Bonifica RIL	1,8,9,10,6,7	32,567
Region 3	Depositi di versante CL	11,12,1,8,9,10,6,13,14,15,16,17	550,71
Region 4	Depositi alluvionali AL	17,18,19,20,21,14,15,16	370,25
Region 5	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	18,22,23,21,20,19	697,14

Current Slip Surface

Slip Surface: 14.645

F of S: 1.137

F of S Rank: 1

Exit: (51,270588, 459,66987) m

Entry: (34,25224, 468,03452) m

Radius: 21,933796 m

Center: (51,485884, 481,60261) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	34,570348	467,64889	-88,021996	20,57898	11,548385	0
Slice 2	35,206563	466,91078	-81,159501	28,577326	16,036847	0
Slice 3	35,66506	466,41209	-76,539867	17,534385	9,839838	0
Slice 4	36,093424	465,9821	-72,576255	20,239304	11,357768	0
Slice 5	36,669373	465,43443	-67,545768	22,192513	12,453858	0
Slice 6	37,245321	464,92465	-62,886787	23,913124	13,419419	0
Slice 7	37,82127	464,44935	-58,566086	25,443659	14,278315	0
Slice 8	38,397218	464,00575	-54,556179	26,807984	15,043939	0
Slice 9	38,973167	463,59149	-50,834047	28,015996	15,721844	0
Slice 10	39,549115	463,20459	-47,380209	29,06623	16,311207	0
Slice 11	40,125063	462,84335	-44,178034	29,946754	16,805335	0
Slice 12	40,701012	462,50631	-41,213216	30,634994	17,191557	0
Slice 13	41,27696	462,19221	-38,47337	31,097209	17,45094	0
Slice 14	41,852909	461,89996	-35,947722	31,288412	17,558238	0

Relazione geotecnica sui rilevati

Slice 15	42,428857	461,62858	-33,626858	31,153354	17,482447	0
Slice 16	43,004806	461,37725	-31,502523	30,629027	17,188208	0
Slice 17	43,545104	461,15848	-29,676556	32,579417	18,282716	0
Slice 18	44,049751	460,96954	-28,121944	37,238878	20,897484	0
Slice 19	44,554399	460,79455	-26,70417	41,734728	23,420437	0
Slice 20	45,059046	460,63316	-25,419806	45,988608	25,807603	0
Slice 21	45,576428	460,48167	-24,239981	46,694827	26,203915	0
Slice 22	46,106544	460,34045	-23,16844	43,578462	24,455092	0
Slice 23	46,63666	460,2133	-22,234873	39,783812	22,325634	0
Slice 24	47,166776	460,09996	-21,436832	35,337655	19,830567	0
Slice 25	47,696892	460,00023	-20,772182	30,295481	17,001031	0
Slice 26	48,227008	459,91392	-20,23908	24,739544	13,883185	0
Slice 27	48,757125	459,84085	-19,835962	18,774346	10,535671	0
Slice 28	49,321972	459,77789	-19,552456	12,09765	6,7888846	0
Slice 29	49,921551	459,72673	-19,405191	4,8281502	2,7094315	0
Slice 30	50,483746	459,69329	-19,409619	1,1087888	0,37746249	4
Slice 31	51,00837	459,67558	-19,546073	0,3884931	0,13225384	4

ANALISI 2: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2, CU

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Title: Asse5_Seiz 2

Relazione geotecnica sui rilevati

Created By: Seghetta Marco

Revision Number: 108

Last Edited By: Seghetta Marco

Date: 21/08/2019

Time: 11:45:41

File Name: Sez 8 Rampa Svincolo Marche_SLU CU A2+M2+R2.gsz

Directory: Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-

Cunicolo\Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\

Last Solved Date: 21/08/2019

Last Solved Time: 11:45:48

Project Settings

Length(L) Units: meters

Time(t) Units: Seconds

Force(F) Units: kN

Pressure(p) Units: kPa

Strength Units: kPa

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

View: 2D

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

Lambda

Lambda 1: -1

Lambda 2: -0,8

Lambda 3: -0,6

Lambda 4: -0,4

Lambda 5: -0,2

Lambda 6: 0

Lambda 7: 0,2

Lambda 8: 0,4

Lambda 9: 0,6

Lambda 10: 0,8

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: No

Relazione geotecnica sui rilevati

Tension Crack

Tension Crack Option: (none)

F of S Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Number of Slices: 30

F of S Tolerance: 0,01

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Optimization Maximum Iterations: 2.000

Optimization Convergence Tolerance: 1e-007

Starting Optimization Points: 8

Ending Optimization Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Materials

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 23 kN/m³

Cohesion': 80 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Rilevato RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Depositi di versante CL

Model: Undrained (Phi=0)

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 42,9 kPa

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Bonifica RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Relazione geotecnica sui rilevati

Depositi alluvionali AL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 26,6 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (25.4425, 468.0437) m

Left-Zone Right Coordinate: (35.80666, 468.0321) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (51.27059, 459.6699) m

Right-Zone Right Coordinate: (73.00392, 458.3166) m

Right-Zone Increment: 40

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (5.7852001, 465.27303) m

Right Coordinate: (80.40634, 457.8557) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0,54629	463,1785
Coordinate 2	11,44544	463,4818
Coordinate 3	30,24698	458,9341
Coordinate 4	81,77243	455,8279

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	24,56891	470,7027
	35,52467	470,7027

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	18,54202	463,9976
Point 2	24,59493	468,0446
Point 3	35,80545	468,0329

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Point 4	43,29278	463,0361
Point 5	45,31137	463,0361
Point 6	50,22134	459,7352
Point 7	30,06398	460,9525
Point 8	18,5464	463,0336
Point 9	30,23249	459,8909
Point 10	50,23448	458,686
Point 11	0,05011	465,3042
Point 12	11,6229	465,2413
Point 13	80,40634	457,8557
Point 14	80,4062	450,8208
Point 15	29,12883	453,4882
Point 16	11,23514	458,4973
Point 17	-0,05023	458,4872
Point 18	-0,01278	453,1863
Point 19	11,49711	453,4169
Point 20	30,42868	448,7627
Point 21	80,57742	446,62
Point 22	-0,0044	440,6324
Point 23	80,37615	440,6324
Point 24	24,56891	470,7027
Point 25	35,52467	470,7027

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Rilevato RIL	1,2,3,4,5,6,7	145,49
Region 2	Bonifica RIL	1,8,9,10,6,7	32,567
Region 3	Depositi di versante CL	11,12,1,8,9,10,6,13,14,15,16,17	550,71
Region 4	Depositi alluvionali AL	17,18,19,20,21,14,15,16	370,25
Region 5	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	18,22,23,21,20,19	697,14

Current Slip Surface

Slip Surface: 229

F of S: 1.262

F of S Rank: 1

Exit: (56,703921, 459,33156) m

Entry: (25,4425, 468,04372) m

Radius: 17,721267 m

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Center: (42,98565, 470,54995) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	26,008006	465,95449	-58,793655	24,45074	13,721116	0
Slice 2	27,139017	462,72067	-29,762452	64,010497	35,921016	0
Slice 3	28,095682	460,96821	-14,845425	89,509816	50,230566	0
Slice 4	28,960472	459,74553	-4,906003	125,50245	0	42,9
Slice 5	29,74904	458,77664	2,7254248	146,85758	0	42,9
Slice 6	30,148235	458,33401	6,1193132	156,44011	0	42,9
Slice 7	30,239735	458,23797	6,8441468	158,51464	0	42,9
Slice 8	30,774749	457,72786	11,517607	169,65938	0	42,9
Slice 9	31,830287	456,79715	20,020967	190,22198	0	42,9
Slice 10	32,885825	456,00264	27,188661	208,52745	0	42,9
Slice 11	33,941363	455,32276	33,232278	225,28139	0	42,9
Slice 12	34,996901	454,74256	38,298213	240,91662	0	42,9
Slice 13	35,66506	454,41215	41,143514	225,74496	0	42,9
Slice 14	36,340259	454,13199	43,491822	228,42122	0	42,9
Slice 15	37,409878	453,73815	46,72189	229,48732	0	42,9
Slice 16	38,479496	453,42009	49,208733	229,5068	0	42,9
Slice 17	39,549115	453,17363	50,993354	228,38049	0	42,9
Slice 18	40,618734	452,99575	52,105459	225,96765	0	42,9
Slice 19	41,688352	452,88437	52,565443	222,09677	0	42,9
Slice 20	42,757971	452,83822	52,385658	216,57631	0	42,9

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Slice 21	43,797427	452,85449	51,6115	215,91582	0	42,9
Slice 22	44,806722	452,9298	50,276258	220,25007	0	42,9
Slice 23	45,802367	453,06104	48,4006	216,37368	0	42,9
Slice 24	46,784361	453,24791	45,987316	204,00734	0	42,9
Slice 25	47,766355	453,49333	42,999928	189,50465	0	42,9
Slice 26	48,748349	453,79987	39,413108	172,80824	0	42,9
Slice 27	49,730343	454,17098	35,193062	153,91121	0	42,9
Slice 28	50,813203	454,66482	29,709829	138,81142	0	42,9
Slice 29	51,99036	455,30211	22,763922	124,87628	0	42,9
Slice 30	53,160947	456,05874	14,651638	108,00559	0	42,9
Slice 31	54,331534	456,9583	5,1375832	88,293818	0	42,9
Slice 32	55,363601	457,88348	-4,5458423	68,949484	0	42,9
Slice 33	56,257148	458,82582	-14,315606	50,658376	0	42,9

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Title: [Asse5_Seiz 2](#)
Created By: [Seghetta Marco](#)
Revision Number: [112](#)
Last Edited By: [Seghetta Marco](#)
Date: [22/08/2019](#)
Time: [10:19:25](#)
File Name: [Seiz 8 Rampa Svincolo Marche_SLV CD M1+R2.gsz](#)
Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-Cunicolo_Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\](#)
Last Solved Date: [22/08/2019](#)
Last Solved Time: [10:19:32](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9,807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

Lambda

Lambda 1: [-1](#)
Lambda 2: [-0,8](#)
Lambda 3: [-0,6](#)
Lambda 4: [-0,4](#)
Lambda 5: [-0,2](#)
Lambda 6: [0](#)
Lambda 7: [0,2](#)
Lambda 8: [0,4](#)
Lambda 9: [0,6](#)
Lambda 10: [0,8](#)
Lambda 11: [1](#)

PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)

Relazione geotecnica sui rilevati

Apply Phreatic Correction: **No**

Use Staged Rapid Drawdown: **No**

Slip Surface

Direction of movement: **Left to Right**

Use Passive Mode: **No**

Slip Surface Option: **Entry and Exit**

Critical slip surfaces saved: **1**

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack

Tension Crack Option: **(none)**

F of S Distribution

F of S Calculation Option: **Constant**

Advanced

Number of Slices: **30**

F of S Tolerance: **0,01**

Minimum Slip Surface Depth: **0,1 m**

Optimization Maximum Iterations: **2.000**

Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**

Starting Optimization Points: **8**

Ending Optimization Points: **16**

Complete Passes per Insertion: **1**

Driving Side Maximum Convex Angle: **5 °**

Resisting Side Maximum Convex Angle: **1 °**

Materials

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **23 kN/m³**

Cohesion': **100 kPa**

Phi': **35 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Line: **1**

Rilevato RIL

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **19 kN/m³**

Cohesion': **0 kPa**

Phi': **35 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Line: **1**

Depositi di versante CL

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **20 kN/m³**

Cohesion': **5 kPa**

Phi': **23 °**

Phi-B: **0 °**

Relazione geotecnica sui rilevati

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Bonifica RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Depositi alluvionali AL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 32 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (25.4425, 468.0437) m

Left-Zone Right Coordinate: (35.80666, 468.0321) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (56.45153, 459.3473) m

Right-Zone Right Coordinate: (73.00392, 458.3166) m

Right-Zone Increment: 40

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (5.7852001, 465.27303) m

Right Coordinate: (80.40634, 457.8557) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0,54629	463,1785
Coordinate 2	11,44544	463,4818
Coordinate 3	30,24698	458,9341
Coordinate 4	81,77243	455,8279

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

Relazione geotecnica sui rilevati

	X (m)	Y (m)
	24,56891	468,4629
	35,52467	468,4419

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0,123

Vert Seismic Load: -0,061

Ignore seismic load in strength: No

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	18,54202	463,9976
Point 2	24,59493	468,0446
Point 3	35,80545	468,0329
Point 4	43,29278	463,0361
Point 5	45,31137	463,0361
Point 6	50,22134	459,7352
Point 7	30,06398	460,9525
Point 8	18,5464	463,0336
Point 9	30,23249	459,8909
Point 10	50,23448	458,686
Point 11	0,05011	465,3042
Point 12	11,6229	465,2413
Point 13	80,40634	457,8557
Point 14	80,4062	450,8208
Point 15	29,12883	453,4882
Point 16	11,23514	458,4973
Point 17	-0,05023	458,4872
Point 18	-0,01278	453,1863
Point 19	11,49711	453,4169
Point 20	30,42868	448,7627
Point 21	80,57742	446,62
Point 22	-0,0044	440,6324
Point 23	80,37615	440,6324

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Rilevato RIL	1,2,3,4,5,6,7	145,49
Region 2	Bonifica RIL	1,8,9,10,6,7	32,567

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Region 3	Depositi di versante CL	11,12,1,8,9,10,6,13,14,15,16,17	550,71
Region 4	Depositi alluvionali AL	17,18,19,20,21,14,15,16	370,25
Region 5	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	18,22,23,21,20,19	697,14

Current Slip Surface

Slip Surface: 12.927

F of S: 1.221

F of S Rank: 1

Exit: (56,451528, 459,34727) m

Entry: (33,2158, 468,0356) m

Radius: 18,748498 m

Center: (49,757704, 476,86009) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	33,600612	467,37978	-84,809463	7,6864534	5,3821126	0
Slice 2	34,370235	466,17005	-73,400637	18,766035	13,140119	0
Slice 3	35,139858	465,13633	-63,718049	28,702455	20,097675	0
Slice 4	35,66506	464,49651	-57,753756	32,850665	23,002284	0
Slice 5	36,175066	463,94768	-52,672957	36,123207	25,293742	0
Slice 6	36,914297	463,21108	-45,886158	39,21795	27,460705	0
Slice 7	37,653528	462,55063	-39,846144	41,895496	29,335542	0
Slice 8	38,392759	461,95613	-34,452913	44,267158	30,996198	0
Slice 9	39,13199	461,41991	-29,631317	46,408599	32,495651	0
Slice 10	39,871221	460,93607	-25,323327	48,364306	33,865051	0
Slice 11	40,610453	460,49994	-21,483187	50,149696	35,115195	0
Slice 12	41,36552	460,10027	-18,01006	51,77792	36,25529	0
Slice 13	42,136424	459,73572	-14,890634	53,197939	37,249598	0
Slice 14	42,907328	459,41283	-12,179836	54,277873	38,005776	0

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Slice 15	43,564215	459,16647	-10,152196	57,660795	40,374523	0
Slice 16	44,20458	458,95703	-8,4767412	61,992079	26,314076	5
Slice 17	44,94244	458,74453	-6,8290029	69,322465	29,42564	5
Slice 18	45,720534	458,55622	-5,4422528	72,449765	30,753101	5
Slice 19	46,538862	458,39464	-4,341532	70,597925	29,967041	5
Slice 20	47,357191	458,27048	-3,6076965	67,393672	28,606916	5
Slice 21	48,175519	458,18299	-3,2334145	62,568459	26,558735	5
Slice 22	48,993848	458,13164	-3,2136365	55,905436	23,73045	5
Slice 23	49,812176	458,11614	-3,5454435	47,28032	20,069305	5
Slice 24	50,616476	458,13545	-4,210341	42,962128	18,236341	5
Slice 25	51,400177	458,18775	-5,1865959	41,147706	17,466165	5
Slice 26	52,177308	458,27251	-6,4772882	37,935708	16,102753	5
Slice 27	52,954439	458,39034	-8,0923311	33,385787	14,171426	5
Slice 28	53,73157	458,54189	-10,037996	27,64782	11,735803	5
Slice 29	54,508701	458,728	-12,322588	20,943067	8,8898045	5
Slice 30	55,285832	458,94974	-14,956694	13,539406	5,7471369	5
Slice 31	56,062963	459,20847	-17,953516	5,7187003	2,4274442	5

ANALISI 4: VERIFICA DI STABILITÀ, COMBINAZIONE SISMICA SLV M2+R1, CU

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

Relazione geotecnica sui rilevati

Title: [Asse5_Seiz 2](#)

Created By: [Seghetta Marco](#)

Revision Number: [112](#)

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

Date: [21/08/2019](#)

Time: [11:59:27](#)

File Name: [Seiz 8 Rampa Svincolo Marche_SLV CU M1+R2.gsz](#)

Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-](#)

[Cunicolo_Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\](#)

Last Solved Date: [21/08/2019](#)

Last Solved Time: [11:59:34](#)

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)

Time(t) Units: [Seconds](#)

Force(F) Units: [kN](#)

Pressure(p) Units: [kPa](#)

Strength Units: [kPa](#)

Unit Weight of Water: [9,807 kN/m³](#)

View: [2D](#)

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: [SLOPE/W](#)

Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

Lambda

Lambda 1: [-1](#)

Lambda 2: [-0,8](#)

Lambda 3: [-0,6](#)

Lambda 4: [-0,4](#)

Lambda 5: [-0,2](#)

Lambda 6: [0](#)

Lambda 7: [0,2](#)

Lambda 8: [0,4](#)

Lambda 9: [0,6](#)

Lambda 10: [0,8](#)

Lambda 11: [1](#)

PWP Conditions Source: [Piezometric Line](#)

Apply Phreatic Correction: [No](#)

Use Staged Rapid Drawdown: [No](#)

Slip Surface

Direction of movement: [Left to Right](#)

Use Passive Mode: [No](#)

Slip Surface Option: [Entry and Exit](#)

Critical slip surfaces saved: [1](#)

Relazione geotecnica sui rilevati

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack

Tension Crack Option: **(none)**

F of S Distribution

F of S Calculation Option: **Constant**

Advanced

Number of Slices: **30**

F of S Tolerance: **0,01**

Minimum Slip Surface Depth: **0,1 m**

Optimization Maximum Iterations: **2.000**

Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**

Starting Optimization Points: **8**

Ending Optimization Points: **16**

Complete Passes per Insertion: **1**

Driving Side Maximum Convex Angle: **5 °**

Resisting Side Maximum Convex Angle: **1 °**

Materials

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **23 kN/m³**

Cohesion': **100 kPa**

Phi': **35 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Line: **1**

Rilevato RIL

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **19 kN/m³**

Cohesion': **0 kPa**

Phi': **35 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Piezometric Line: **1**

Depositi di versante CL

Model: **Undrained (Phi=0)**

Unit Weight: **20 kN/m³**

Cohesion': **60 kPa**

Pore Water Pressure

Piezometric Line: **1**

Bonifica RIL

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **19 kN/m³**

Cohesion': **0 kPa**

Phi': **35 °**

Phi-B: **0 °**

Pore Water Pressure

Relazione geotecnica sui rilevati

Piezometric Line: 1

Depositi alluvionali AL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 32 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (25.4425, 468.0437) m

Left-Zone Right Coordinate: (35.80666, 468.0321) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (51.27059, 459.6699) m

Right-Zone Right Coordinate: (73.00392, 458.3166) m

Right-Zone Increment: 40

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (5.7852001, 465.27303) m

Right Coordinate: (80.40634, 457.8557) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X (m)	Y (m)
Coordinate 1	0,54629	463,1785
Coordinate 2	11,44544	463,4818
Coordinate 3	30,24698	458,9341
Coordinate 4	81,77243	455,8279

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	24,56891	468,4629
	35,52467	468,4419

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0,123

Vert Seismic Load: -0,061

Ignore seismic load in strength: No

Points

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

	X (m)	Y (m)
Point 1	18,54202	463,9976
Point 2	24,59493	468,0446
Point 3	35,80545	468,0329
Point 4	43,29278	463,0361
Point 5	45,31137	463,0361
Point 6	50,22134	459,7352
Point 7	30,06398	460,9525
Point 8	18,5464	463,0336
Point 9	30,23249	459,8909
Point 10	50,23448	458,686
Point 11	0,05011	465,3042
Point 12	11,6229	465,2413
Point 13	80,40634	457,8557
Point 14	80,4062	450,8208
Point 15	29,12883	453,4882
Point 16	11,23514	458,4973
Point 17	-0,05023	458,4872
Point 18	-0,01278	453,1863
Point 19	11,49711	453,4169
Point 20	30,42868	448,7627
Point 21	80,57742	446,62
Point 22	-0,0044	440,6324
Point 23	80,37615	440,6324

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Rilevato RIL	1,2,3,4,5,6,7	145,49
Region 2	Bonifica RIL	1,8,9,10,6,7	32,567
Region 3	Depositi di versante CL	11,12,1,8,9,10,6,13,14,15,16,17	550,71
Region 4	Depositi alluvionali AL	17,18,19,20,21,14,15,16	370,25
Region 5	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	18,22,23,21,20,19	697,14

Current Slip Surface

Slip Surface: 12.922

F of S: 1.352

F of S Rank: 1

Exit: (51,270588, 459,66987) m

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Entry: (33,2158, 468,0356) m

Radius: 25,353766 m

Center: (52,047274, 485,01173) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	33,504409	467,726	-88,14804	6,0220612	4,2166926	0
Slice 2	34,081627	467,1265	-82,609957	12,503377	8,7549589	0
Slice 3	34,658844	466,56455	-77,440166	18,430625	12,905263	0
Slice 4	35,236061	466,03681	-72,605849	23,95919	16,776405	0
Slice 5	35,66506	465,66225	-69,186173	25,25331	17,682558	0
Slice 6	36,117422	465,29138	-65,816512	26,904241	18,838552	0
Slice 7	36,741366	464,80309	-61,396708	27,642624	19,355574	0
Slice 8	37,36531	464,34517	-57,274796	28,272978	19,796952	0
Slice 9	37,989255	463,91564	-53,431342	28,816352	20,177427	0
Slice 10	38,613199	463,51281	-49,849626	29,283413	20,504467	0
Slice 11	39,237143	463,13519	-46,515167	29,675054	20,778697	0
Slice 12	39,861087	462,78149	-43,415345	29,981757	20,993453	0
Slice 13	40,485031	462,45059	-40,539112	30,182363	21,133918	0
Slice 14	41,108975	462,1415	-37,876751	30,242957	21,176346	0
Slice 15	41,73292	461,85335	-35,419688	30,116549	21,087835	0
Slice 16	42,356864	461,58535	-33,16034	29,744115	20,827053	0
Slice 17	42,980808	461,33683	-31,091985	29,057288	20,346132	0
Slice 18	43,629212	461,09892	-29,142182	31,333315	21,939823	0
Slice 19	44,302075	460,87254	-27,319873	36,774596	25,749849	0

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione geotecnica sui rilevati

Slice 20	44,974938	460,66686	-25,700559	41,992027	29,403134	0
Slice 21	45,625228	460,48694	-24,320523	43,209326	30,255496	0
Slice 22	46,252944	460,33107	-23,163003	40,110251	28,0855	0
Slice 23	46,880659	460,19205	-22,170751	36,263641	25,392075	0
Slice 24	47,508375	460,0696	-21,341002	31,684334	22,185609	0
Slice 25	48,136091	459,96348	-20,671371	26,423077	18,501638	0
Slice 26	48,763807	459,87347	-20,159829	20,563181	14,398494	0
Slice 27	49,391523	459,79942	-19,804682	14,213373	9,9523108	0
Slice 28	49,96336	459,74508	-19,60987	8,1148167	5,6820558	0
Slice 29	50,483688	459,70759	-19,549846	4,933979	0	60
Slice 30	51,008312	459,68062	-19,595533	0,80000409	0	60