

COMMITTENTE:



**DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA**

PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA
S.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD.**

PROGETTO ESECUTIVO

RIASSETTO NODO DI BARI

TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

Ottemperanza alle prescrizioni Delibera cipe 28/01/2015

Canale idraulico di collegamento tra la lama San Marco e la lama Valenzano e strade di ricucitura urbana dei fondi interclusi

**OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO
Relazione geotecnica di calcolo dei rilevati**

SCALA:

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

I A 1 U 0 3 E 7 8 CL N I 0 2 0 0 3 0 2 A

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	INTEGRA	GIUGNO 2021	G. FICOFELLA 	GIUGNO 2021	G. DIMAGGIO 	GIUGNO 2021	 G. DIMAGGIO DIRETTORE GENERALE DIREZIONE REGIONALE UD Puglia - Direzione Sud P.le Log. Dante Alighieri 70122 Bari

File:IA1U03E78CLNI0200302A.doc

n. Elab.

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10879

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE <small>Canale idraulico e strade di ricucitura</small>					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO.....	8
3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	8
3.2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO	8
3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	8
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	9
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
5.1 PREMESSA	10
5.2 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	10
5.3 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO ALLA WINKLER PER ANALISI STRUTTURALI	11
6. RILEVATI	14
6.1 ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI.....	14
6.2 ANALISI DI STABILITÀ DELLE SCARPATE.....	16
6.2.1 Metodologie di calcolo	16
6.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità.....	18
6.2.3 Risultati	18
6.3 PIANI DI POSA	20
6.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE	21
7. APPENDICE A: ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI – TABULATI DI CALCOLO – SEZIONE N. 13 BIS KM 0+250	22

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE <small>Canale idraulico e strade di ricucitura</small>					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

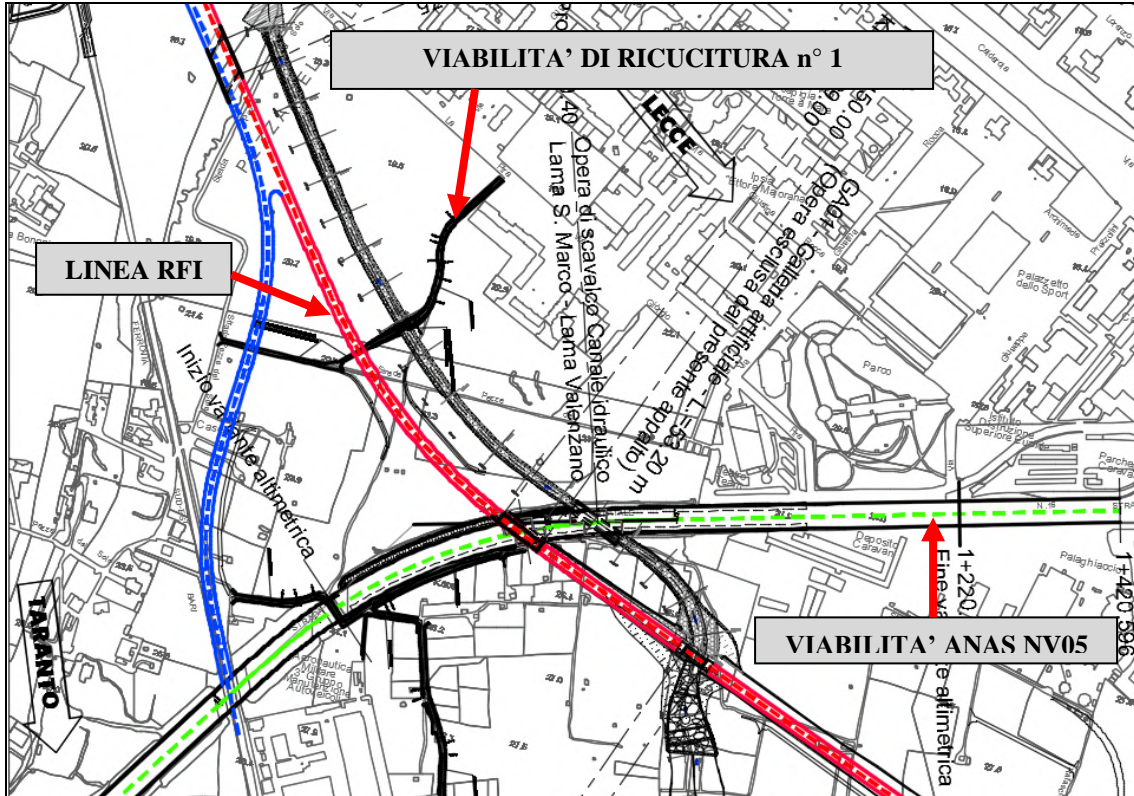
1. PREMESSA

Nel presente documento si descrivono le verifiche geotecniche dei rilevati inerenti le viabilità di ricucitura inserite nell'ambito del Progetto Esecutivo della viabilità NV05-Tangenziale di Bari della linea ferroviaria del Riassetto Nodo di Bari, tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a Mare.

In particolare si analizzeranno i rilevati della viabilità di ricucitura n.1 per la quale sono previsti le altezze maggiori in corrispondenza dell'opera di scavalco di un canale idraulico posto tra le progressive km 0+234.00 ed il km 0+250.00 circa della stessa viabilità di ricucitura.

Nel presente elaborato verranno affrontati i seguenti aspetti:

- richiamo dell' inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico del territorio in esame presentato più dettagliatamente nel Progetto Esecutivo della viabilità principale NV05-Tangenziale di Bari;
- richiamo delle campagne di indagine svolte;
- definizione, per le viabilità di ricucitura, della successione stratigrafica e della definizione dei parametri geotecnici-geomeccanici di progetto; individuazione del livello massimo di falda;
- Analisi dei cedimenti, verifiche di stabilità delle scarpate e valutazioni sul piano di posa per i rilevati inerenti le viabilità di ricucitura;
- Problematiche della liquefazione dei terreni.


Figura 1. Stralcio planimetrico

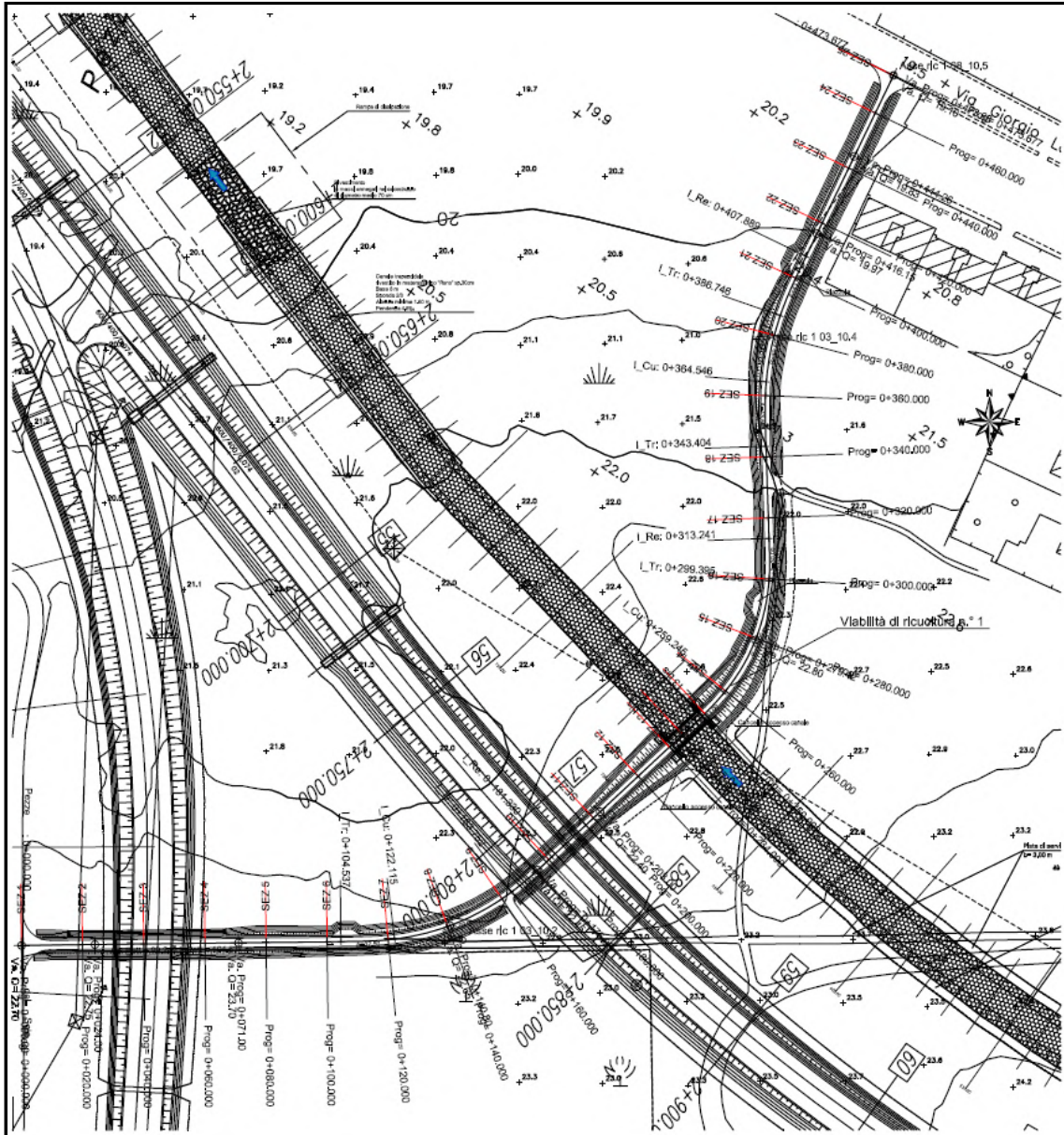


Figura 2. Planimetria viabilità di ricucitura n° 1

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto della Normativa in vigore e di alcune Raccomandazioni.

I principali riferimenti normativi sono i seguenti:

- [N.1]. Legge 05/11/1971 n.1086e Circ. 11951 del 14/02/1974. Norme per la disciplina delle opere in c.a., c.a.p. ed a struttura metallica e relative istruzioni.
- [N.2]. Legge 21/03/1974 n.64 Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- [N.3]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008).
- [N.4]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008
- [N.5]. DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni.
- [N.6]. RFI DTC INC CS SP IFS 001 A – Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.
- [N.7]. RFI DINIC MA CS 00 001 C – Manuale di progettazione corpo stradale – RFI 2004

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Inoltre si fa riferimento ai seguenti documenti del Progetto Esecutivo della Tangenziale di Bari:

- [D1]. IA1U 02 E 69 RG GE 0001 101 A _ Riassetto Nodo di Bari – Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a mare - Geologia ed Idrogeologia - Relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica.
- [D2]. IA1U 02 E 69 PR GE 0005 101 A. Riassetto Nodo di Bari – Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a mare - Variante altimetrica tangenziale di Bari. Prove geotecniche di laboratorio
- [D3]. IA1U 02 E 69 SG GE 0005 101 A. Riassetto Nodo di Bari – Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a mare - Variante altimetrica tangenziale di Bari. Indagini geognostiche.

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

- [D4]. IA1U 02 E 69 IG GE 0005 101 A. Riassetto Nodo di Bari – Tratta a sud di Bari: variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a mare - Variante altimetrica tangenziale di Bari. Prosezioni geofisiche
- [D5]. IA1U 02 E 26 RB GE0000 101 A. Riassetto Nodo di Bari. Progetto Esecutivo tratta a sud di Bari variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Variante altimetrica tangenziale di Bari. Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati.
- [D6]. IA1U 02 E 26 RB GE0000 102 A. Riassetto Nodo di Bari. Progetto Esecutivo tratta a sud di Bari variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Variante altimetrica tangenziale di Bari. Relazione sismica.
- [D7]. IA1U 02 E 26 F6 GE0000 101 A. Riassetto Nodo di Bari. Progetto Esecutivo tratta a sud di Bari variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Variante altimetrica tangenziale di Bari. Profilo longitudinale geotecnico.
- [D8]. IA1U 03 E 78 RH IF0005 301 A. Riassetto Nodo di Bari. Progetto Esecutivo tratta a sud di Bari variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Progetto Esecutivo del canale e strade di ricucitura. Relazione Tecnico Descrittiva.
- [D9]. IA0D 01 D 78 RH GE0005 001 A. Riassetto Nodo di Bari. Tratta a sud di Bari. Variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Geotecnica. Relazione geotecnica.
- [D10]. IA0D 00 D 78 F6 GE0005 002 A. Riassetto Nodo di Bari. Tratta a sud di Bari. Variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare. Geotecnica. Profilo Geotecnico tav. 2 di 8

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le unità litostratigrafiche che si rinvencono lungo il tracciato della tangenziale di Bari sono essenzialmente riconducibili al Gruppo dei Calcari delle Murge (formazioni marine del Cretaceo) ed al Deposito Calcareo-Detritico Trasgressivo (formazioni marine del Pliocene-Quaternario). Solo localmente si rinvencono depositi di limitato spessore riferibili alle Successioni continentali di genesi prevalentemente alluvionale.

In particolare nell'area in cui ricade il tracciato della tangenziale di Bari, si ha calcare di Bari quasi affiorante. Dopo una copertura di materiale vegetale da 1.0 m circa si rinviene il calcare di Bari, compatto con elevati valori di RQD, generalmente tra 30 e 70%.

3.2 INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Dal punto di vista morfologico generale, l'area in cui ricade l'intervento della tangenziale di Bari, si sviluppa su una porzione di territorio pressoché tabulare o al più debolmente degradante verso il mare Adriatico ed è compresa fra le quote del p.c. locale +27 m s.l.m. e +23 m s.l.m. circa.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

In corrispondenza della tangenziale di Bari, il livello di falda è stato intercettato a profondità maggiore di 20 m dal p.c. e quindi non interferisce con le opere in progetto.

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricicatura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Brevemente verranno richiamate nel seguito le principali informazioni per la caratterizzazione sismica lungo il tracciato in progetto, valutata secondo quanto indicato dalla normativa vigente, finalizzata alle verifiche geotecniche svolte nel presente elaborato (analisi di stabilità).

Nel caso in esame per la Regione Puglia comune di Bari si ha:

$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0.093 \cdot g$	accelerazione massima orizzontale di progetto;
$V_R = 112.5$ anni	periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_N = 75$ anni per opere di interesse pubblico, $C_U = 1.5$ per opere di classe III ovvero con affollamenti significativi);
$PVR = 10\%$	probabilità di superamento dell'azione sismica nel periodo di riferimento V_R (relativa allo stato limite SLV);
$TR = 1068$ anni	tempo di ritorno dell'azione sismica
$a_g = 0.093 \cdot g$	accelerazione massima sul suolo di riferimento rigido;
$S_S = 1.0$	coefficiente di amplificazione stratigrafica locale ($S_S = 1.0$; $F_0 = 2.698$);
$S_T = 1.0$	coefficiente di amplificazione topografica.

La categoria di sottosuolo per l'area di intervento è una categoria di sottosuolo di tipo A ("Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m") [D6].

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE <small>Canale idraulico e strade di ricucitura</small>					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 PREMESSA

Le indagini geotecniche a disposizione per la caratterizzazione geotecnica/geomeccanica del tracciato della viabilità Tangenziale di Bari sono richiamate qui di seguito:

- campagna d'indagine a base del Progetto Definitivo della linea ferroviaria "Riassetto Nodo di Bari" ([D5] et al.), eseguita tra fine 2013 e luglio 2014: consistita in sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove di laboratorio e indagini geofisiche;
- campagna geognostica integrativa dell'agosto 2014, eseguita appositamente per la progettazione della variante altimetrica della tangenziale di Bari: consistita in sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove di laboratorio e indagini geofisiche (profili tomografici elettrici) ([D5] et al.).

Nel successivo paragrafo si riportano i parametri geotecnici di progetto riferiti all'area in esame, valutati sulla base dell'interpretazione delle indagini geotecniche svolte in sito ed in laboratorio.

5.2 SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

In figura 3 si riporta uno stralcio del profilo geotecnico della linea ferroviaria "Variante di tracciato tra Bari c.le e Bari Torre a Mare". Il sottovia in oggetto è in adiacenza a tale linea, pressappoco in corrispondenza della progressiva km 2+825 circa (tra le sezioni 57 e 58).

Con riferimento a quanto già analizzato ([D5]; [D5]) in merito alle caratteristiche geotecniche/geomeccaniche dei terreni e delle rocce, si riporta quanto segue:

Unità Rv – coltre vegetale:

$\gamma = 16\div 18 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 30^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 50\div 200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni.

Unità CBA – Calccare di Bari

$\gamma = 25\div 26 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$GSI = 35\div 40$	Geological Strenght Index

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

$\sigma_c = 37 \text{ MPa}$	resistenza a compressione uniassiale
$D = 0 \div 0.5$	Coefficiente di disturbo
$\varphi' = 45 \div 49^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 80 \div 124 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E_0 = 1000 \div 7200 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico a piccole deformazioni
$E' = E_0$	modulo di Young elastico (operativo)

In caso di calcare fratturato si assumono i seguenti valori:

Unità CBA_{alt} – calcare sfatto, intensamente fratturato (RQD = 0)

$\gamma = 20 \div 21 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35 \div 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \div 5 \text{ kPa}$	coesione drenata
$E' = 40 \div 100 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico Young (operativo)

I valori delle proprietà geotecniche ottenuti e discussi, sono da intendersi come range di valori guida per la progettazione.

Per il rilevato stradale, in accordo al specifica per la progettazione delle opere geotecniche ferroviarie di RFI [N.6], si assumono i seguenti parametri geotecnici:

Rilevato stradale

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 35^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione drenata

Il livello di falda rilevato dai piezometri installati nell'area in esame è a profondità maggiore di 20 m dal p.c. locale ([D5] et al.).

5.3 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO ALLA WINKLER PER ANALISI STRUTTURALI

Per le analisi d'interazione struttura-terreno in direzione verticale, il coefficiente di sottofondo alla Winkler può essere determinato con la seguente relazione:

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

$$k_w = \frac{E}{(1 - \nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

dove:

E = modulo di deformazione elastico del terreno;

ν = coefficiente di Poisson = 0.3;

B = larghezza della fondazione.

c_t = fattore di forma, coefficiente adimensionale ottenuto dalla interpolazione dei valori dei coefficienti proposti dal Bowles, 1960 (vedasi tabella seguente).

Tabella 1. Fattore di forma per la stima del coefficiente di Winkler

Fondazione Rigida	c_t
- rettangolare con $L/B \leq 10$	$c_t = 0.853 + 0.534 \ln(L/B)$
- rettangolare con $L/B > 10$	$c_t = 2 + 0.0089 (L/B)$
dove L è il lato maggiore della fondazione.	

La maggior parte delle fondazioni delle opere d'arte maggiori ha fondazione diretta impostata sui calcari di Bari. Sulla base della geometria della fondazione e delle condizioni geomeccaniche locali, verrà valutato il modulo di deformazione elastico per il calcolo del coefficienti di sottofondo.

In particolare il modulo di deformazione elastico potrà essere determinato dal modulo di deformazione elastico iniziale (E_0) come $E' = E_0 / 5$, dove E_0 è valutato nell'ambito dello spessore compressibile della fondazione esaminata (H_c).

Lo spessore della zona compressibile (H_c) dipende principalmente dalle dimensioni e dalla forma della fondazione, dal reale profilo del modulo di Young con la profondità e dal livello di mobilitazione di resistenza al taglio indotto dall'applicazione dei carichi. In questa sede, nel calcolo dei cedimenti, verrà ipotizzato dal lato della sicurezza quanto segue:

- Fondazioni quadrate o circolari $\Rightarrow H_c = 2.0 \cdot B$
- Fondazioni nastriformi ($L/B > 10$) $\Rightarrow H_c = 3.5 \cdot B$
- Fondazioni rettangolari ($L/B < 10$) $\Rightarrow H_c$ variabile linearmente tra $2.0 \cdot B$ e $3.5 \cdot B$.

Si consiglia comunque di far variare il coefficiente di sottofondo alla Winkler (k_w), così determinato, entro un range significativo di valori, al fine di inviluppare le condizioni strutturali peggiori.

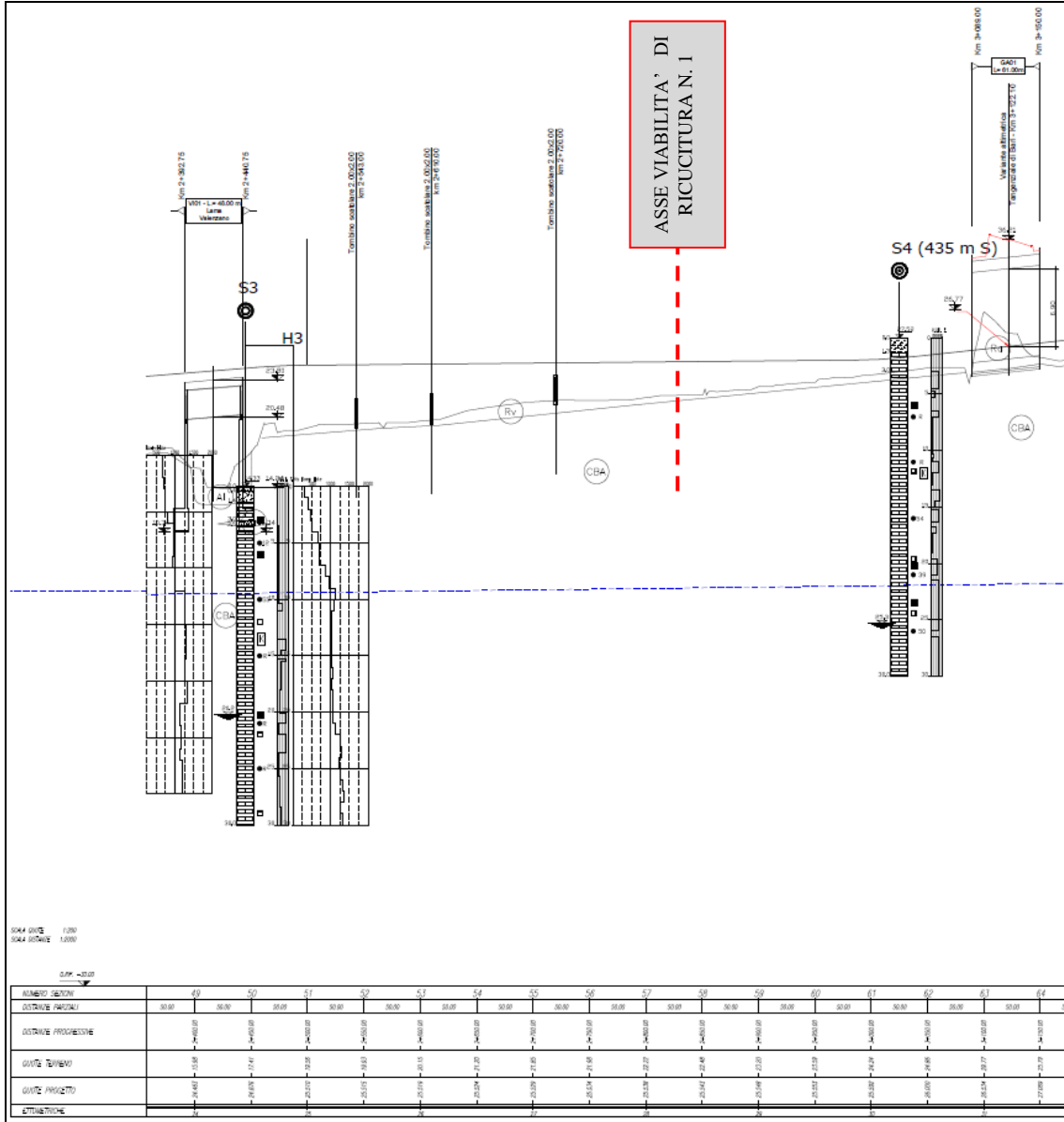


Figura 3. Stralcio del profilo geotecnico della linea ferroviaria “Variante di tracciato tra Bari centrale e Bari Torre a mare”. [D10]

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO 302	REV. A

6. RILEVATI

In generale il corpo stradale delle viabilità di ricucitura si sviluppa in rilevato su altezze modeste. Come già accennato nella introduzione per le verifiche dei rilevati si analizzerà la sezione più gravosa che fa riferimento alla viabilità di ricucitura n°1 per la quale si ha una altezza massima di rilevato pari a circa 3.00m.

Per la viabilità di ricucitura n° 1, il terreno di fondazione dei rilevati è costituito da uno spessore di Coltre vegetale di 0.5 m circa (unità Rv) che poggia su calcare compatto (unità CBA).

Quindi in generale, il terreno di fondazione dei rilevati in esame, presenta sempre buone caratteristiche meccaniche e bassa deformabilità, pertanto non si prevedono problematiche relative allo sviluppo dei cedimenti che saranno sempre bassi (entro il centimetro) e si svilupperanno entro i tempi di costruzione dei rilevati.

6.1 ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Nel seguito è riportata l'analisi svolta per il calcolo dei cedimenti dei rilevati di massima altezza per la sezione ritenuta più significativa sia in relazione alla successione stratigrafica che alla geometria dei rilevati delle viabilità di ricucitura. In particolare la sezione di riferimento è quella in corrispondenza dell'opera di scavalco del canale idraulico sulla viabilità di ricucitura n° 1.

L'analisi dei cedimenti dei rilevati è stata, con il foglio di calcolo excel "Cedimenti dei rilevati" (M. Mancina, R. Nori e P. Iasiello - DEI) considerando l'ipotesi di rilevato illimitato (Appendice A).

Nella valutazione dei cedimenti e quindi nella determinazione dello spessore compressibile, si sono considerati i contributi degli strati fino ad una profondità massima intesa come quella in cui il rapporto tra l'incremento della tensione media del sottosuolo per effetto del sovraccarico dovuto al rilevato ($\Delta\sigma_m = (\Delta\sigma_{zi} + \Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})/3$) e la tensione efficace media ($\sigma_{m0} = (\sigma'_{v0} + 2k_0\sigma'_{v0})/3(\Delta\sigma_m / \sigma_{m0})$) è risultato pari ad una percentuale definita all' 1%.

E' stata analizzata le seguenti sezioni:

- Sezione n. 13 bis – km 0+250: rappresentativa per le viabilità di ricucitura con altezza massima del rilevato pari a circa 3.00m.

Nelle seguente figure è mostrata la geometria della sezione di calcolo presa a riferimento.


RIASSETTO NODO DI BARI
TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE

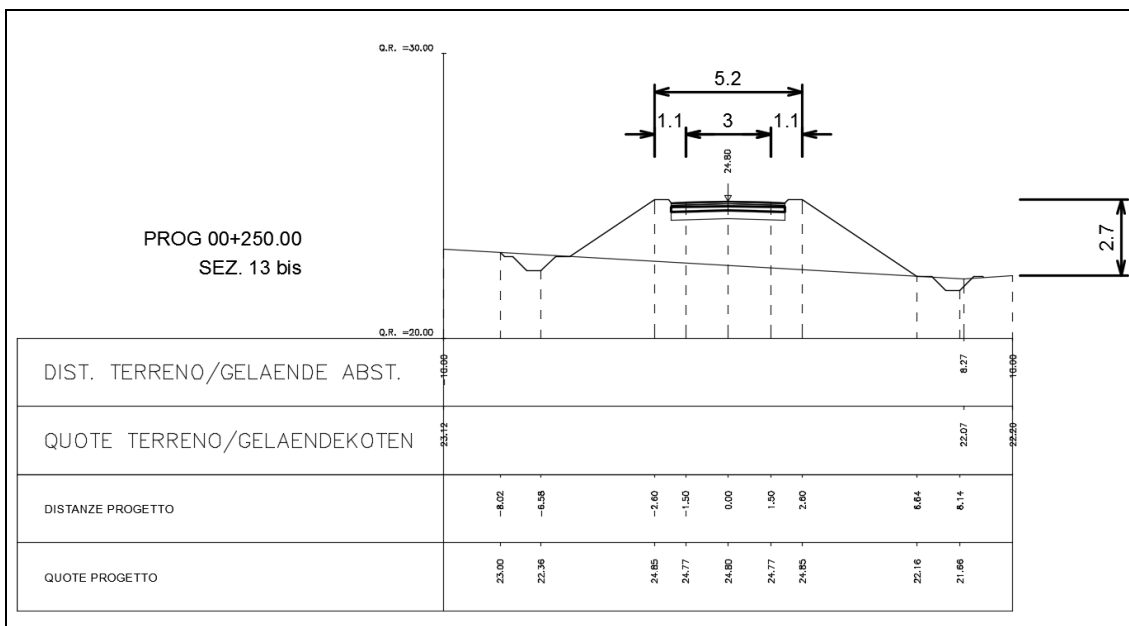
Canale idraulico e strade di ricucitura

OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO

Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

IA1U 03 E 78 CL NI0200 302 A 15 DI 23


Figura 4. Schema di calcolo sezione n. 13 bis della viabilità di ricucitura n°1 km 0+250

Il modulo elastico di deformazione (E') dei terreni, utilizzato per l'analisi dei cedimenti dei rilevati, è stato ricavato dal modulo elastico iniziale (E_0): $E' = E_0/10$ per i terreni della coltre vegetale. Mentre per l'unità CBA (calcare di Bari) $E' = E_0$ [D5].

Nella seguente tabella sono sintetizzate le stratigrafie di calcolo ed i valori del modulo di deformazione adottati. Nel calcolo, a favore di sicurezza, si è ipotizzata la presenza della unità CBA alt, diversamente da quanto indicato nel profilo geotecnico di figura 3 (CBA).

Tabella 1 - Stratigrafia e parametri

Profondità [m] da p.c.	E' [MPa]	Unità	Sezione di calcolo
0.0 ÷ 0.50	50	Rv	Sez. 13 bis
> 0.50	40	CBA alt	

Nella seguente tabella si riassumono i risultati dei calcoli eseguiti, in Appendice A sono riportati i tabulati di calcolo completi.

Tabella 2 - Cedimenti dei rilevati

	Sezione n. (-)	Pk (km)	Altezza rilevato [m]	Larghezza sommitale [m]	Cedimento totale in asse [mm]
Viabilità di ricucitura n° 1	13 bis	0+250	3	5.50	18.30

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

I cedimenti totali massimi stimati sono inferiori ad 2 cm. Inoltre data la natura dei terreni di fondazione (incoerenti nella parte superficiale e substrato roccioso oltre i 2.5-4.5 m dal p.c.), si può prevedere che gran parte dei cedimenti totali si genereranno durante il decorso delle fasi costruttive. I cedimenti stimati risultano quindi compatibili con la funzionalità in esercizio delle opere.

6.2 ANALISI DI STABILITÀ DELLE SCARPATE

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati. In particolare l'analisi è stata svolta per la viabilità di ricucitura n°1 per la sezione con rilevato di massima altezza 3.0 m pendenza scarpate 2 (verticlae) / 3 (orizzontale); sezione di approccio allo scatolare idraulico.

Le verifiche sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche con le metodologie indicate di seguito e con i parametri geotecnici precedentemente indicati. Per le analisi di stabilità è stato considerato un carico accidentale stradale di 20 kPa; a tali carichi sono stati poi applicati i coefficienti parziali come previsto da normativa vigente.

Si osserva che al fine di escludere dall'analisi di stabilità le superfici di scivolamento interne al rilevato, causate dal fatto che la riduzione dell'angolo di attrito interno per effetto del coefficiente parziale M2 condurrebbe ad un valore minore di quello rappresentatao dalla geometria della scarpata (infatti: $\arctg(\tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi'}) = \arctg(\tan(35^\circ)/1.25) = 29.26^\circ < \arctg(2/3) = 33.69^\circ$), si caratterizza nelle analisi uno strato di terreno vegetale di 30cm esistente con le seguenti caratteristiche:

Terreno vegetale:

$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$\varphi' = 26^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c' = 10 \text{ kPa}$	coesione drenata

6.2.1 Metodologie di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state svolte sia in condizioni statiche che sismiche.

Le verifiche di stabilità sono condotte utilizzando il metodo dell'equilibrio limite di Bishop semplificato (1955). Tale metodo consente di calcolare il coefficiente di sicurezza associato ad una qualsiasi superficie di scivolamento circolare nell'ipotesi "semplificativa" che, suddivisa la massa del terreno interessata dal cinematismo in strisce, le forze di interstriscia abbiano direzione orizzontale. Il comportamento meccanico del terreno è ipotizzato, analogamente a tutti i metodi dell'equilibrio limite, di tipo rigido perfettamente plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

La valutazione dei fattori di sicurezza per la stabilità è condotta mediante il modulo "Slope W" del programma GeoStudio 2007 GEO-SLOPE International.

Tale programma consente un'analisi di stabilità all'equilibrio limite tenendo conto di terreni variamente stratificati, dell'eventuale falda idrica, della presenza di pressioni neutre diverse

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

dalle pressioni idrostatiche, di sollecitazioni sismiche mediante un'analisi di tipo pseudostatica, 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.

La determinazione delle superfici di scorrimento critiche avviene mediante metodo “*Entry and Exit*”, che permette di indicare le strisce, a monte e a valle del rilevato, per le quali devono necessariamente passare le superfici di scorrimento. Dunque, imponendo che le superfici passino unicamente al di sotto dell'impronta della piattaforma stradale ed escludendo di conseguenza il terreno vegetale (vedi foto), non vengono considerate le superfici che si sviluppano all'interno dello strato vegetale, poco significative ai fini dell'analisi.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

In accordo alla normativa vigente per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo la normativa quindi i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

$\gamma_{\varphi} = 1.25$ coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio

$\gamma_{c'} = 1.25$ coefficiente parziale per la coesione drenata

L'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

$\tan(\varphi'_k) = \tan(\varphi'_k) / \gamma_{\varphi}$ angolo di resistenza al taglio

$c'_k = c'_k / \gamma_{c'}$ coesione drenata

I carichi accidentali vengono amplificati con il coefficiente parziale $\gamma_M = 1.3$ in condizioni statiche; in condizioni sismiche $\gamma_M = 1.0$ e si considera un coefficiente di combinazione di carico (Ψ) pari a 0.2.

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.1 (γ_R).

Pertanto il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare $FS \geq 1.1$.

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE Canale idraulico e strade di ricucitura					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL	DOCUMENTO NI0200 302	REV. A

In accordo alla normativa vigente l'analisi sismica allo stato limite ultimo (SLU sismico) viene condotta considerando i parametri del terreno abbattuti con i coefficienti parziali precedentemente riportati ed il coefficiente di sicurezza dovrà risultare ≥ 1.1 .

6.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità

In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali f_h e verticali f_v per unità di volume, d'intensità pari al prodotto fra il peso specifico del corpo γ sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico:

$$f_h = \gamma \cdot k_h \quad \text{forza orizzontale per unità di volume}$$

$$f_v = \gamma \cdot k_v \quad \text{forza verticale per unità di volume}$$

dove:

γ = peso specifico del volume considerato.

In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale (a_h) dell'accelerazione può essere legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.019$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.010$$

dove:

k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

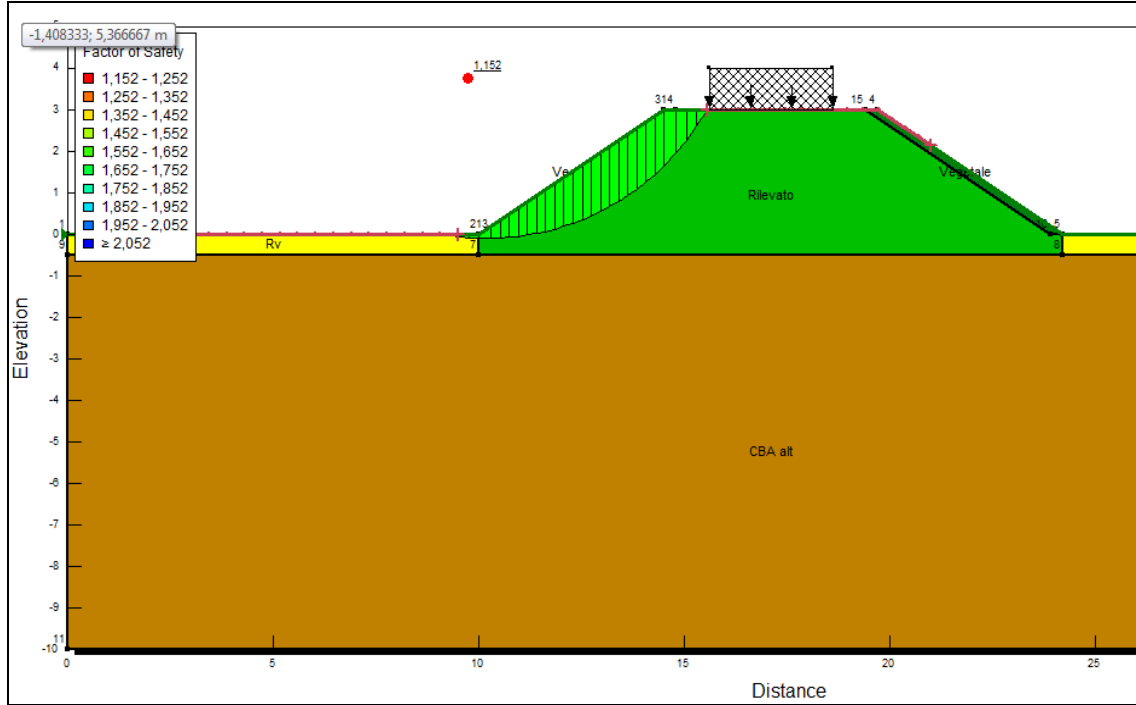
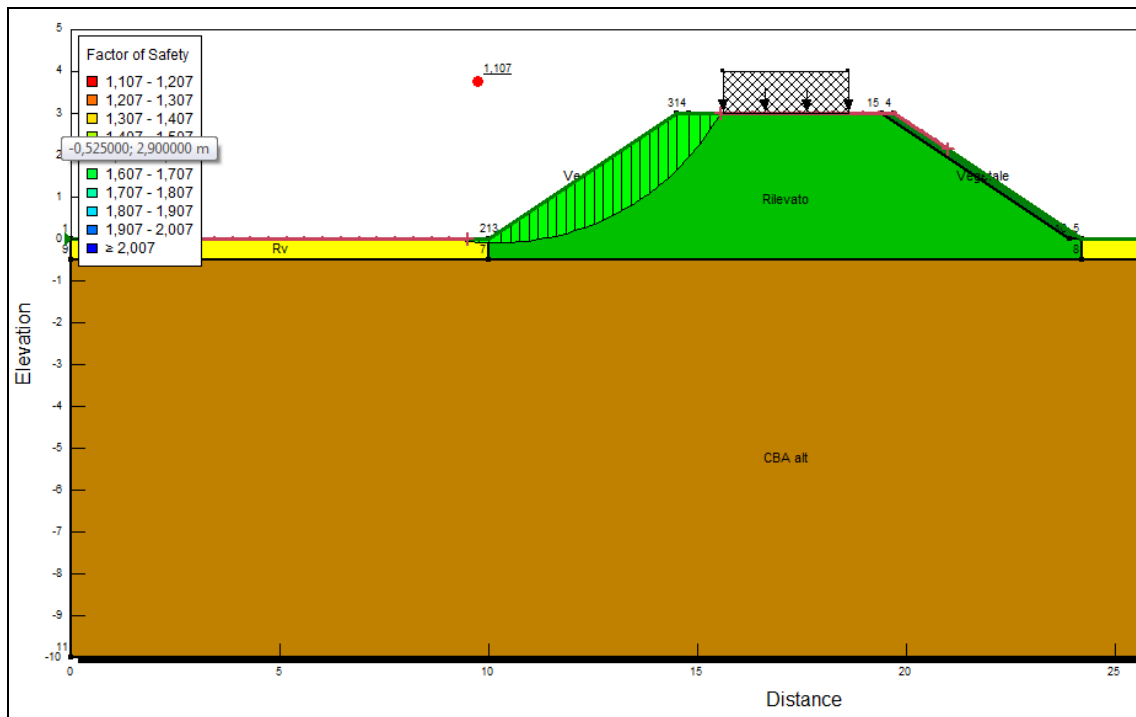
$\beta_s = 0.20$, coefficiente di riduzione che dipende dall'accelerazione massima e dalla categoria di suolo.

6.2.3 Risultati

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità (per l'analisi sismica è riportata la verifica con $\pm k_v$ che ha fornito il valore minimo del coefficiente di sicurezza).

La sezione di riferimento è quella in corrispondenza dell'opera di scavalco in cui l'altezza del rilevato è stata approssimata per eccesso a +3.00m da p.c. in favore di sicurezza.

I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle verifiche sono sempre maggiori di quanto previsto da normativa; quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte.


Figura 5. Analisi statica SLU (FS = 1.152)

Figura 6. Analisi sismica SLU + (FS = 1.107)

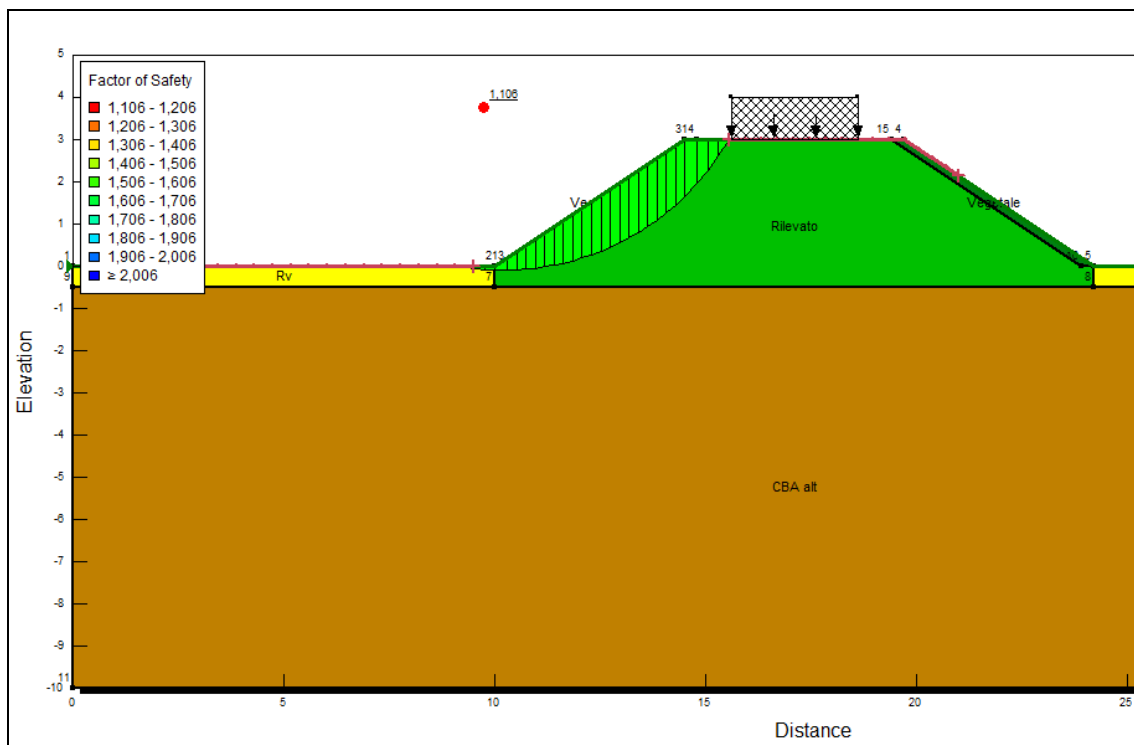


Figura 7. Analisi sismica SLU - (FS = 1.106)

ANALISI DI STABILITA' DEI RILEVATI	
COMBINAZIONE DI CARICO	COEFFICIENTE DI SICUREZZA [FS]
SLU	1.152
SISMA +	1.107
SISMA -	1.106

6.3 PIANI DI POSA

Quindi per la realizzazione del piano di posa dei rilevati si prevede:

- spessore di scotico pari a 0.50 m.

Qualora raggiunto il piano di posa del rilevato si rinverranno porzioni di terreno vegetale e/o terreno rammollito e comunque non idoneo quale piano di posa, si provvederà ad ulteriore bonifica e sostituzione con idoneo materiale da rilevato come da indicazioni di Capitolato.

	RIASSETTO NODO DI BARI TRATTA A SUD DI BARI: VARIANTE DI TRACCIATO TRA BARI CENTRALE E BARI TORRE A MARE <small>Canale idraulico e strade di ricucitura</small>					
	OPERA DI SCAVALCO CANALE IDRAULICO Relazione geotecnica e di calcolo dei rilevati	PROGETTO IA1U	LOTTO 03	CODIFICA E 78 CL NI0200 302	DOCUMENTO	REV. A

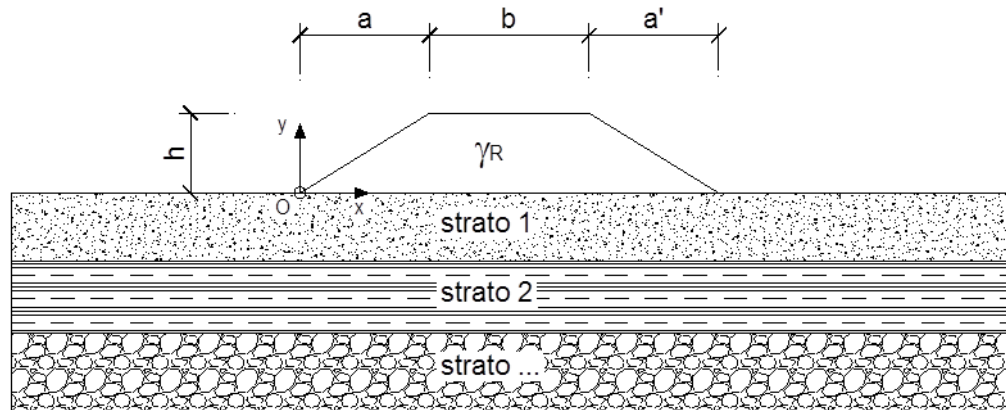
6.4 VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nella Relazione Sisima [D6] e nella relazione geotecnica [D5], risulta che:

- l'evento sismico atteso è di magnitudo M pari a 6.25;
- l'accelerazione massima attesa al piano campagna in condizioni di free-field è di 0.093g;
- il livello della falda è generalmente a profondità maggiore di 20 m da piano campagna;
- non sono presenti zone con strati sabbiosi e/o limo-sabbiosi di bassa plasticità con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} < 30$.

Pertanto la verifica a liquefazione può essere omessa.

7. APPENDICE A: Analisi dei cedimenti dei rilevati – Tabulati di calcolo – Sezione n. 13 bis km 0+250



CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL RILEVATO

h (altezza del rilevato):	3,00	(m)
a (larghezza scarpata sinistra):	4,50	(m)
a' (larghezza scarpata destra):	4,50	(m)
b (larghezza coronamento del rilevato):	5,20	(m)
γ_R (peso di unità di volume del rilevato):	19,00	(kN/m ³)

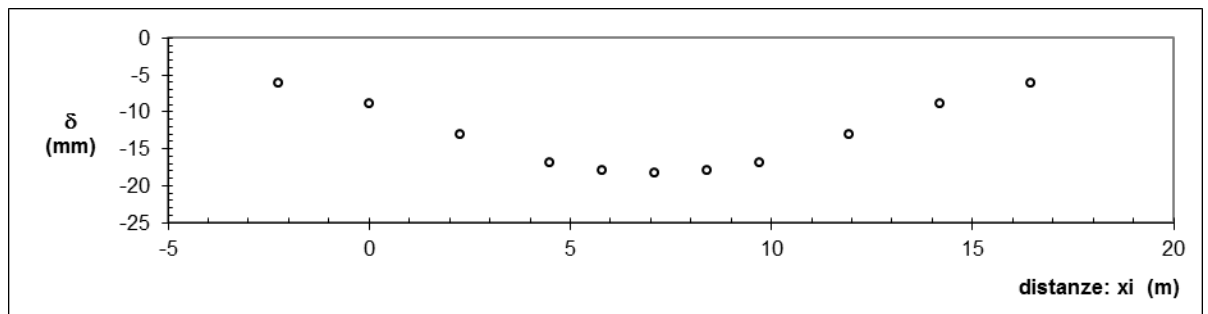
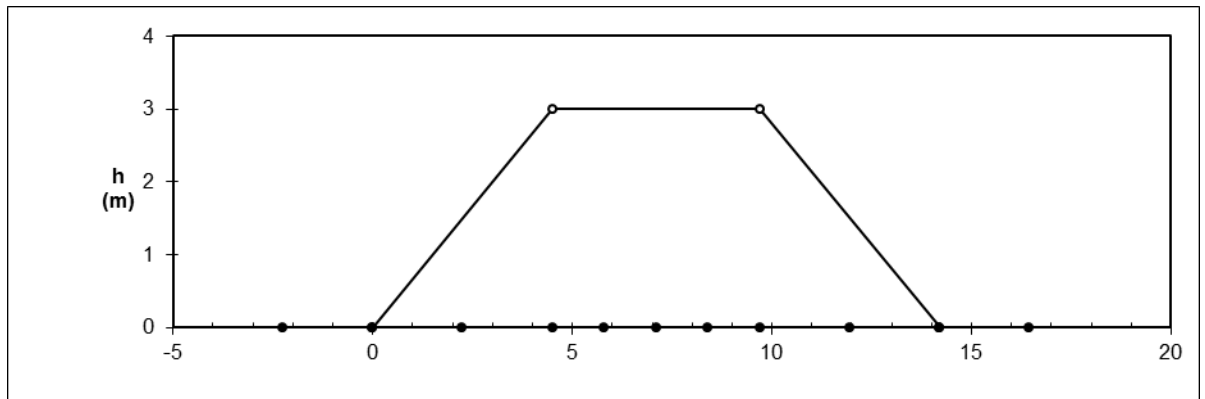
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

n (numero degli strati) (max 5):	2	(-)
$\Delta\sigma_m/\sigma_{m0}$:	1	(%)
(Rapp. Tensione media indotta nel sottosuolo e tensione efficace media)		
Zw (Profondità della falda):	15,00	(m)

Strato	Ziniziale	Zfinale	Spessore	Δz_i	E	ν	φ'	γ	terreno
(n)	(m)	(m)	(m)	(m)	(Mpa)	(-)	(°)	(kN/m ³)	
1	0,00	0,50	0,50	1,0	50,0	0,30	30,0	16,00	Rv
2	0,50	19,50	19,00	1,0	40,0	0,30	35,0	20,00	CBA

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2,25	0,00	2,25	4,50	5,80	7,10	8,40	9,70	11,95	14,20	16,45

RISULTATI DELLE ANALISI

ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-2,25	0,00	2,25	4,50	5,80	7,10	8,40	9,70	11,95	14,20	16,45

GEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-0,60	-0,89	-1,30	-1,69	-1,80	-1,83	-1,80	-1,69	-1,30	-0,89	-0,60