

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U. O. Progettazione Integrata Nord

PROGETTO DEFINITIVO

**AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE
ZONA INDUSTRIALE
2^ FASE**

OPERE CIVILI
RILEVATI FERROVIARI
RELAZIONE DI CALCOLO

SCALA:

-

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

I V 0 H 0 2 D 2 6 C L R I 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per commenti	C. Soave <i>C. Soave</i>	Gen. 2022	R. Lestingi <i>R. Lestingi</i>	Gen. 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gen. 2022	A. Perego Gen. 2022



File: IV0H02D26CLRI0000001A

n. Elab.: 52



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	2 DI 38

Sommario

1	PREMESSA	4
1.1	GENERALE	4
2	DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	7
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO	8
2.3	BIBLIOGRAFIA.....	9
3	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	10
4	INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO.....	15
4.1	GEOMETRIA DEL RILEVATO	16
5	PARAMETRI GEOTECNICI.....	17
6	CRITERI DI VERIFICA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCORDO ALLE NTC2018	18
6.1	VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI IN CAMPO STATICO.....	18
6.2	VERIFICHE STATI LIMITE DI ESERCIZIO	21
6.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO	21
	<i>Verifiche Stati limite ultimi (SLU).....</i>	<i>22</i>
	<i>Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale.....</i>	<i>22</i>
7	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	24
7.1	SLIDE 7.0 ROCSCIENCE	24
7.2	SETTLE 3D - ROCSCIENCE.....	24



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	3 DI 38

8	CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO DI PROGETTO.....	25
8.1	GEOMETRIA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCOSTO	25
8.2	MATERIALI E PARAMETRI GEOTECNICI DEL RILEVATO	25
8.3	CARICHI DI PROGETTO	26
	<i>Carichi ferroviari per le Verifiche SLE.....</i>	<i>27</i>
9	RILEVATO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	29
10	RILEVATO - VERIFICHE DEI CEDIMENTI	32
10.1	CEDIMENTI SOTTO LA LINEA DI NUOVA REALIZZAZIONE	36
11	ALLEGATI.....	38

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>4 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	4 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	4 DI 38								

1 PREMESSA

1.1 Generale

Il presente documento ha per oggetto la verifica della stabilità dei rilevati e delle scarpate necessarie alla realizzazione degli interventi volti all'adeguamento e al potenziamento dell'impianto di Vado Ligure zona Industriale, vedi Figura 1.

Essendo la linea Genova – Ventimiglia, appartenente alla rete TEN-T Core, e dal Porto di Savona-Vado, appartenente alla rete TEN-T Comprehensive, coerentemente al piano di adeguamento prestazionale di RFI, è stato previsto l'adeguamento a modulo 750 metri.

Il progetto prevede complessivamente la realizzazione di un nuovo ACC, in luogo dell'attuale Apparato Centrale Idrodinamico, con centralizzazione ed elettrificazione di tutti i 6 binari del piazzale, e la rivisitazione del PRG della stazione, con adeguamento di un binario a modulo 750 metri. All'interno del perimetro saranno compresi anche la soppressione del PL di Via Sabazia, l'adeguamento per la gestione delle merci pericolose, la progettazione dell'indipendenza della radice dei raccordi Porto ed Esso/Infineum e l'adeguamento stradale di via Leopardi, necessario nell'ambito dei lavori di PRG a regime.

La relazione comprende le verifiche di SLU ed SLE condotte ed eseguite ai sensi della Normativa di riferimento NTC2018, v. capitolo seguente.



Figura 1 - Localizzazione dell'area di interesse (Fonte: Google Earth)

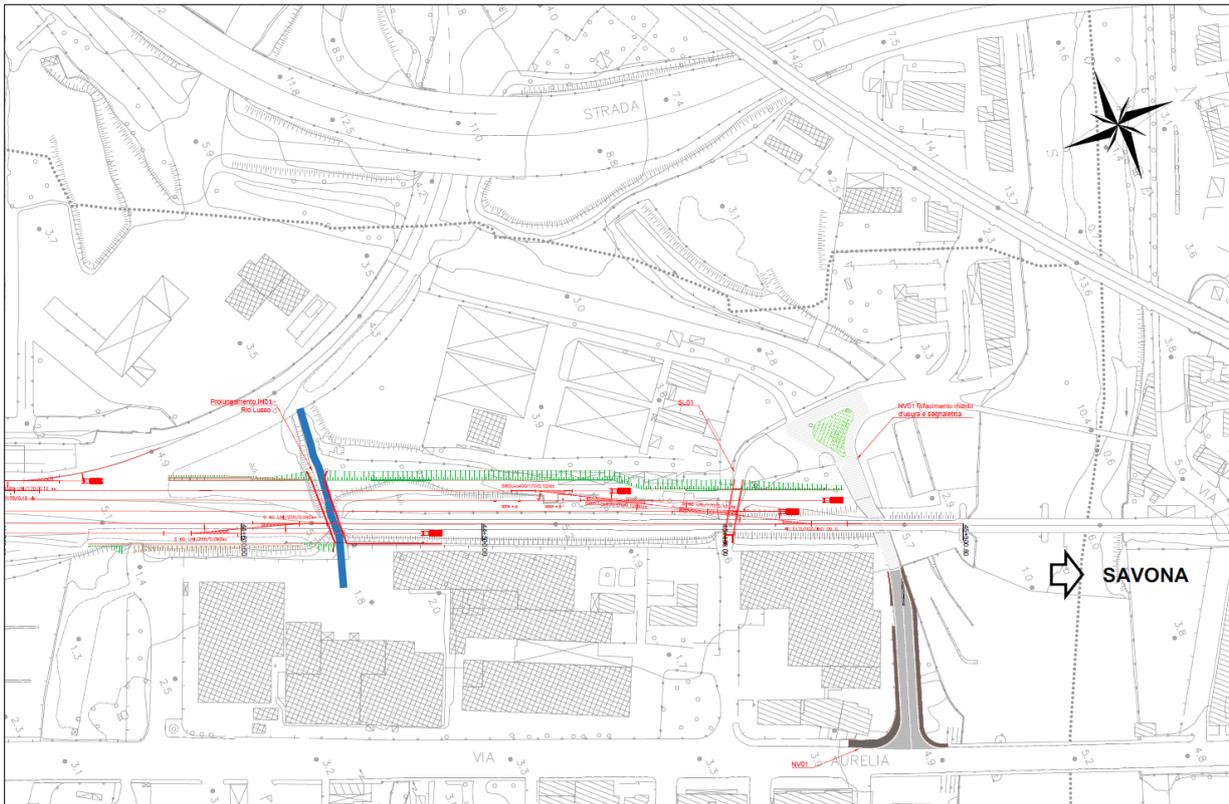


Figura 2 – Planimetria di progetto – rilevati (in verde)

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>7 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	7 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	7 DI 38								

2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018.
- [2] Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 E del 31/12/20: “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” Parte II - Sezione 3: Corpo stradale;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 E del 31/12/20: “Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II Parte II - Sezione 5: Opere in Terra e scavi”;
- [5] RFI TCAR ST AR 01 001 D: “Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h”;
- [6] UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [7] UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- [8] UNI EN del 1998 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”;
- [9] Regione Calabria, Legge regionale del 12 ottobre 2012, n. 46, Modifiche ed integrazioni alla legge regionale del 16 ottobre 2009, n. 35, recante: «Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva antisismica), (BUR n. 19 del 16 ottobre 2012, supplemento straordinario n. 2 del 20 ottobre 2012);
- [10] Regione Calabria, Regolamento regionale n. 7 del 28 giugno 2012 s.m.i. “procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica di cui alla legge regionale n. 35 del 19 ottobre 2009 s.m.i.” (Testo coordinato con le modifiche ed integrazioni di cui al R.R. n. 3 del 24.02.2014, approvato con Delibera G.R. n° 51 del 20.02.2014 pubblicato sul BURC Parte I n. 9 del 03.03.2014 ripubblicato con avviso di errata corrige sul BURC Parte I n. 10 del 5.03.2014);
- [11] Regione Calabria, Deliberazione della Giunta Regionale del 10 febbraio 2004 n. 47, Prime disposizioni per l’attuazione dell’Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>8 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	8 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	8 DI 38								

[12] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;

[13] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;

[14] D.P.R. 380 del 06/06/2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;

[15] Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;

[16] D.M. LL.PP. 11.03.1988 «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»;

[17] Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l’obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono»;

[18] Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l’obbligatorietà dell’applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero per il Lavori Pubblici”;

[19] D.lgs. 18 aprile 2016, n. 50 «Codice dei contratti pubblici».

2.2 Documenti di progetto

[20] IV0H02D26GEGE0000002A – Relazione geotecnica

[21] IV0H02D26F7GE0000001A – Profilo geotecnico

[22] IV0H02D26W9RI0100001A – RI01 - Sezioni correnti

[23] IV0H02D26WBRI0000001A – Sezioni caratteristiche e particolari costruttivi - Tav 1

[24] IV0H02D26WBRI0000002A – Sezioni caratteristiche e particolari costruttivi - Tav 2

[25] IV0H02D26P7IF0000002A – Planimetria di Progetto



PROGETTO DEFINITIVO

**AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE**

FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	9 DI 38

2.3 Bibliografia

- [26] Geotecnica, R. Lancellotta; Terza edizione, 2008, Zanichelli.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>10 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	10 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	10 DI 38								

3 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Secondo quanto previsto dalla normativa vigente, la pericolosità sismica dei siti è valutata in maniera probabilistica in relazione all'evento sismico di riferimento, definito sulla base dei risultati degli studi di microzonazione sismica e delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche dell'area studiata.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Tale operazione può essere fatta con riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018, sulla base dell'inquadramento del sito di interesse nel reticolo sismico nazionale.

Come richiesto dalle NTC, le categorie di suolo sono determinate sulla base dei risultati delle prove geofisiche tipo MASW e DH eseguite nell'ambito del presente progetto.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

 LONGITUDINE:
 LATITUDINE:

Ricerca per comune

 REGIONE:
 PROVINCIA:
 COMUNE:

Elaborazioni grafiche

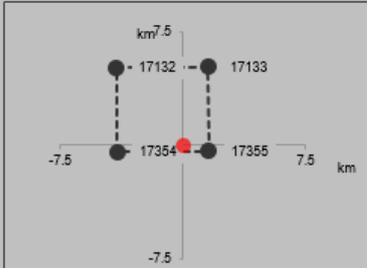
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione:



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 3 – Vado Ligure zona industriale: inquadramento reticolo sismico

Nel caso specifico, sulla base dei risultati della prova MASW 2, i terreni di progetto possono ritenersi appartenere alla categoria di sottosuolo **C** con il substrato roccioso posto a profondità superiore a 30m: “*Depositi di terreni a grana mediamente addensati o a grana fina mediamente consistenti*”, caratterizzato da valori di velocità equivalente compresi tra 242 m/s e 305 m/s.

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell’azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

Nella fattispecie, l'area interessata risulta classificabile come **T1**: "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Per quanto premesso, a seguire, si forniscono i parametri sismici con riferimento alla destinazione d'uso delle opere in progetto (vita nominale V_N e Classe d'uso). In particolare, le opere previste sono progettualmente classificate come "costruzione con livelli di prestazioni ordinarie" e caratterizzate da una vita nominale di **50** anni. In relazione alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla classe d'uso **II**: "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."

Pertanto, il coefficiente d'uso C_U è pari a 1.00 ed il periodo di riferimento $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1.0 = 50$ anni.

I parametri spettrali di riferimento (vedi Figura 4 e Figura 5) per lo scenario in esame sono richiamati di seguito.

a_g (g) (SLV) 0.057g

Risposta Sismica Locale

Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s 1.5

Coefficiente di amplificazione topografica S_t 1.0

Accelerazione massima attesa al suolo

a_{\max} (g) ($a_{\max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$) 0.0855g

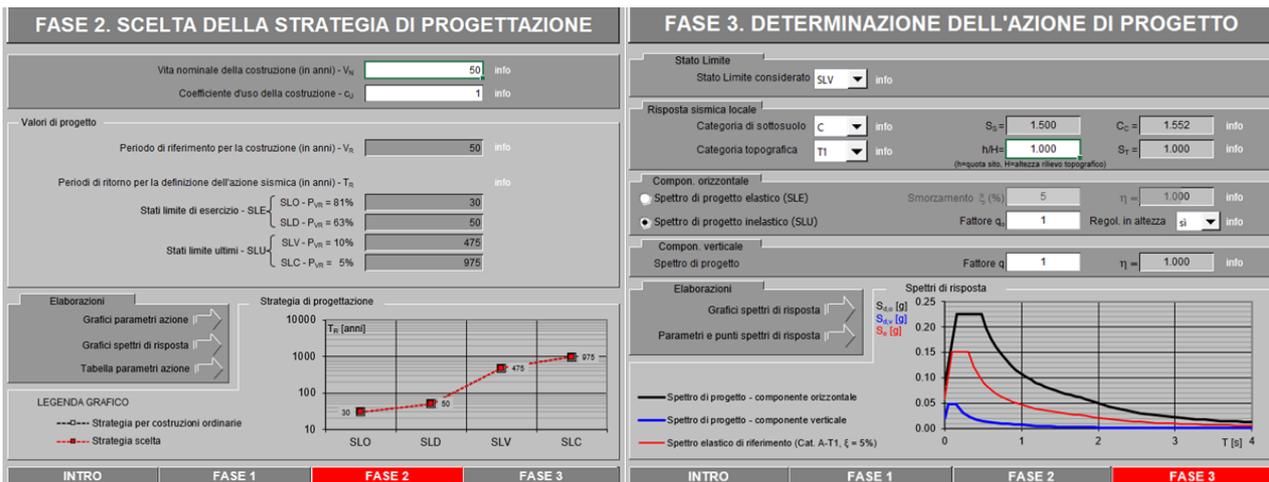


Figura 4 – Parametri sismici di progetto: determinazione dell'azione di progetto

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,057 g
F_a	2,610
T_C	0,307 s
S_S	1,500
C_C	1,551
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,500
η	1,000
T_B	0,158 s
T_C	0,475 s
T_D	1,829 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_i \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1 / q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0,000	0,086
0,158	0,224
0,475	0,224
0,540	0,197
0,604	0,176
0,669	0,159
0,733	0,145
0,798	0,134
0,862	0,124
0,927	0,115
0,991	0,108
1,056	0,101
1,120	0,095
1,184	0,090
1,249	0,085
1,313	0,081
1,378	0,077
1,442	0,074
1,507	0,071
1,571	0,068
1,636	0,065
1,700	0,063
1,765	0,060
1,829	0,058
1,932	0,052
2,036	0,047
2,139	0,043
2,243	0,039
2,346	0,035
2,449	0,032
2,553	0,030
2,656	0,028
2,759	0,026
2,863	0,024
2,966	0,022
3,070	0,021
3,173	0,019
3,276	0,018
3,380	0,017
3,483	0,016
3,586	0,015
3,690	0,014
3,793	0,014
3,897	0,013
4,000	0,012

La verifica dell'adeguatezza del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dell

Figura 5 - Parametri sismici di progetto: parametri per lo Stati Limite SLV

4 INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area oggetto di studio è localizzata a Vado Ligure della provincia di Savona, nella Regione Liguria, e comprende il rilevato ferroviario esistente. Il rilevato ferroviario raggiunge una altezza dell'ordine di 2.5 – 3.0 m nei pressi della tombinatura esistente "Rio Lusso".



Figura 6 – Inquadramento dell'area di intervento (Fonte: Google Earth)

Come detto in questa relazione si mostreranno le verifiche di stabilità globale e cedimenti delle sezioni del rilevato in allargamento necessarie alla costruzione delle nuove linee. Nei seguenti paragrafi vengono definite le sezioni più critiche utilizzate per le verifiche.



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	17 DI 38

5 PARAMETRI GEOTECNICI

La sezione così individuata nella condizione più sfavorevole (caratteristiche dei terreni, altezza massima del rilevato) è stata utilizzata per la verifica dell'opera.

Dall'esame dei parametri geotecnici (rif. Doc.[20]) è stato possibile determinare il modello più conservativo, con riferimento al sondaggio S1 al fine delle verifiche richieste dalla normativa. La tabella seguente riassume i parametri geotecnici da implementare nei modelli di calcolo.

Tabella 1: Modello geotecnico di calcolo (Doc. Rif. [20])

Modello geotecnico: indagine di rif. S1, MASW2												
Unità	Descrizione	z iniziale (m da p.c.)	z finale (m da p.c.)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	Modulo non drenato Eu (MPa)	K media (m/s)
R	Riporto antropico	0	3	3	18	-	-	-	-	-	-	-
UG-a	Sabbia con ghiaia poco addensata	3	9	6	18	20-30	27-29	-	-	5-15	-	2.29E-04
UG-b	Sabbia con ghiaia, talvolta limosa da sciolta a poco addensata	9	22.5	13.5	19	30-40	28-30	-	-	10-20	-	5.00E-06
UG-c	Alternanza di ghiaia con sabbia limosa e limo con sabbia addensata	22.5	30	7.5	18	40-50	32	-	-	20-40	-	1.0E-06 - 1.0E-08*

* Il valore desunto dalla letteratura in base alla granulometria trovata

La falda si è rilevata a quota di +0.80 m.s.l.m.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCORDO ALLE NTC2018

In base a quanto indicato dalle NTC2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte sono le seguenti.

6.1 Verifiche Stati Limite Ultimi in campo statico

Le verifiche di stabilità in campo statico per i rilevati devono essere eseguite secondo il seguente approccio:

Approccio 1 - Combinazione 2: A2 + M2 + R2 tenendo conto dei coefficienti parziali definiti in Tabella 2, Tabella 3 e Tabella 4 (rispettivamente Tab.6.2.I, Tab.6.2.II e Tab.6.8.I del Doc. [1]). La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

essendo R la resistenza globale del sistema (Par. C.6.8.6.2 del Doc. [1]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

$$R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right].$$

Facendo riferimento a quanto previsto al Par. 3.5.2.3.8 del Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 C, parte IV, per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali definiti in Tabella 2 (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [1]) e i coefficienti di combinazione ψ definiti in Tabella 3 e Tabella 4 (Tab. 5.2.VI e Tab. 5.2.VII del Doc. Rif. [1]).

Tabella 2: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [1])

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

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{Gi}

In Tabella 2 il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Tabella 3: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. [1])

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle az



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IV0H 02 D 26 CL RI0000 001 A 20 DI 38

Tabella 4: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII Doc. [1])

Tab. 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione ψ delle azioni

Azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2	
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
⁽²⁾ Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.
⁽³⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 5: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. [1])

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

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

Tabella 6 : Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) in campo statico (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [1])

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

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	21 DI 38

6.2 Verifiche Stati limite di Esercizio

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [1]), che gli spostamenti/cedimenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede che una stima del cedimento delle due rotaie in una stessa sezione verticale del rilevato. Inoltre, con riferimento alla tabella che segue, è necessario verificare che gli spostamenti indotti sui binari in esercizio durante la costruzione rispettino i valori riportati in Tabella 7, ovvero inferiori ai valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità. Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità, è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

Tabella 7 – Valori limite dei difetti in direzione trasversale (in mm) – (Doc. [5])

	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 6	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 4
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ 6 < SCARTXL ≤ 10	$10 < \Delta H \leq 15$ 4 < SCARTXL ≤ 8
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sgembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) 10 < SCARTXL ≤ 14	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) 8 < SCARTXL ≤ 12
(1) il valore di ΔH può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.)		
(2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.		

6.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico

Le NTC 2018 stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso ed in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

Con riferimento all'opera in oggetto, le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica al seguente stato limite:

- Stato Limite Ultimo: SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_v = 10\%$ nel periodo di riferimento V_r);

Verifiche Stati limite ultimi (SLU)

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

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$. (vedasi Par.7.11.4 del Doc. Rif. [1]).

Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

La verifica di stabilità globale in condizioni sismiche va condotta, in accordo a quanto riportato nel par.7.11.3.5.2 delle NTC2018, mediante analisi pseudo-statiche adottando i coefficienti sismici k_H (orizzontale) e k_V (verticale), definiti come segue:

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

$$k_V = \pm 0.5 \cdot k_H$$

essendo:

a_{max} = accelerazione sismica di progetto, prima definita, qui assunto pari a 0.0855g (rif. Doc. [20]);

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; il valore del coefficiente β_s da assumere per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, è pari a $\beta_s = 0.38$.

Si ottengono pertanto i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 8):



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	23 DI 38

Tabella 8: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

a_{\max} (g)	k_H	k_V
0.0855	0.0325	± 0.0162

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>24 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	24 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	24 DI 38								

7 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

7.1 Slide 7.0 Rocscience

Le verifiche geotecniche di stabilità globale del corpo di rilevato saranno condotte con il codice di calcolo numerico *Rocscience – Slide 7.0*.

Il software determina la superficie di scorrimento critica caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra la resistenza di progetto del sistema R_d (momenti stabilizzanti) e l'azione di progetto E_d (momenti ribaltanti). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento ai coefficienti parziali (A_2+M_2).

Le verifiche saranno condotte facendo ricorso al metodo di Bishop modificato e al metodo di Morgenstern-Price.

7.2 Settle 3D - Rocscience

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo *Rocscience-Settle 3D*, che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità dei vari strati.

8 CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO DI PROGETTO

8.1 Geometria del rilevato ferroviario in accosto

Si analizza la sezione di progetto numero 4 alla progressiva 44+434. La sezione è contraddistinta dalla presenza di cinque binari di progetto. Al di sotto del rilevato è previsto uno scotico pari a 0.5m. In figura seguente si riporta la sezione tipologica del rilevato ferroviario.

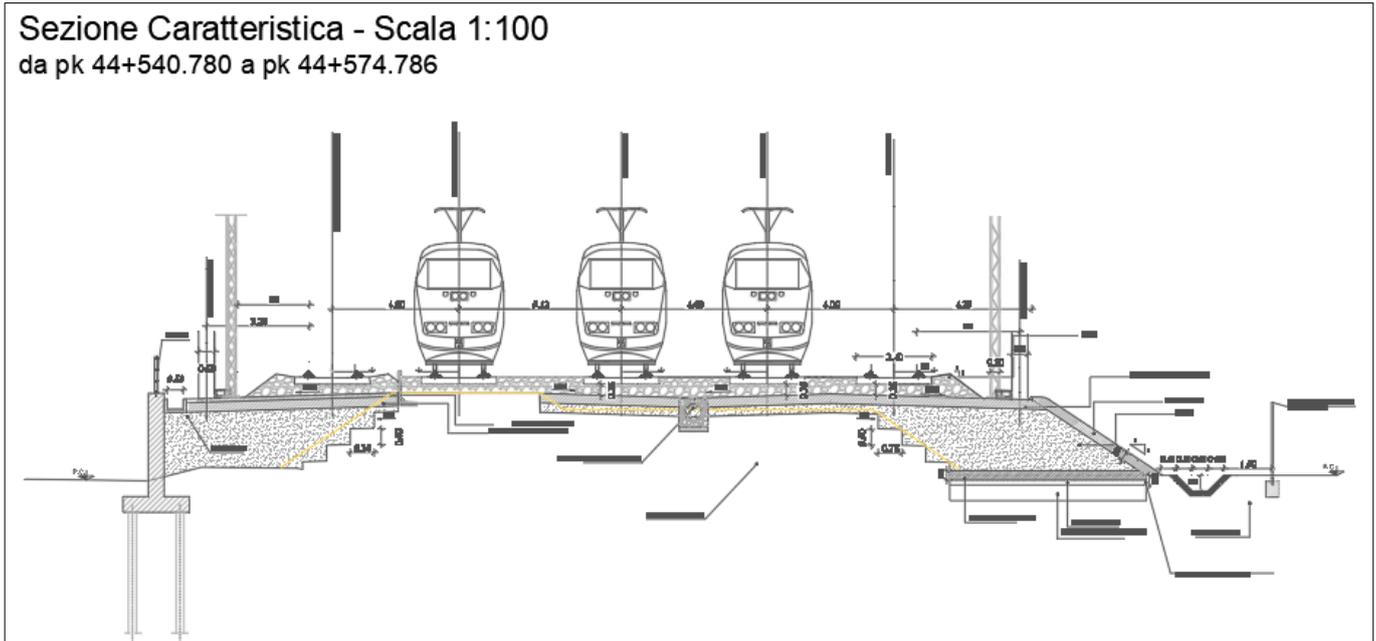


Figura 8: - Stralcio di sezione tipologica rilevato ferroviario in accosto

Le scarpate del rilevato sono rifinite con una finitura a verde di spessore pari a circa 30 cm. Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di super compattato di spessore pari a 30cm, al di sopra del quale verrà realizzato il ballast, traversine ed armamento ferroviario.

8.2 Materiali e parametri geotecnici del rilevato

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa con i valori minimi dei parametri caratteristici riportati nella seguente tabella.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

Si segnala che, in via conservativa, in sede di calcolo lo strato di super compattato è stato caratterizzato con i medesimi parametri di resistenza del rilevato ferroviario ed inoltre, non è stato modellato lo strato di ballast ma introdotti i relativi pesi quali carichi permanenti.

Tabella 9: Parametri di resistenza geotecnici di calcolo – materiali costituenti il rilevato

STRATO	Peso di volume	Angolo di attrito	Coesione efficace
	γ_d	$\phi'k$	$c'k$
	[kN/m ³]	[°]	[kPa]
RILEVATO ESISTENTE	20	35	0
NUOVO RILEVATO	20	38	0

8.3 Carichi di progetto

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

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

L'armamento ferroviario (ballast) è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80m con un peso pari a 18kN/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato.

Per la definizione del sovraccarico da traffico ferroviario si sono valutate le pressioni equivalenti dovute sia al treno per traffico normale LM71 sia per quello da traffico pesante SW/2, secondo quanto definito sia dalle NTC2018 sia dal "Manuale di progettazione delle opere civili" (RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019).

In particolare, assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico LM71 (traffico normale). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a 250kN ad asse, con interasse pari a 1.6m, (ossia $250/1.6 = 156.25\text{kN/m}$); per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 2.8m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia $156.25/2.8 = 55.8\text{ kPa}$). Per il tipo di traffico caratterizzante la linea (LM71), si è assunto un coefficiente di amplificazione α pari a 1.1. Pertanto, il valore di pressione risultante è pari a 61.4 kPa.

Assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico SW/2 (traffico pesante), si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

il carico dato dal treno SW/2 risulta essere pari a 150kN/m; in modo analogo a quanto detto sopra per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è pari a $150/2.8 = 53.6\text{ kPa}$ da amplificarsi, con un coefficiente a pari a 1. Il valore di pressione risultante è quindi pari a 53.6 kPa.

Alla luce di quanto sopra, si impiega il carico da treno tipo LM71.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al quanto già precedentemente trattato.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione e di combinazione come previsti dalla Normativa vigente.

Nelle verifiche di stabilità in condizioni sismiche delle sezioni in rilevato, il carico da traffico ferroviario (q), sopra menzionato è moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ ed è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata pari a:

$$q_d = 0.2q_k = 12.3\text{ kPa.}$$

Carichi ferroviari per le Verifiche SLE

Infine, per quanto riguarda i carichi ferroviari per le verifiche SLE, nel calcolo dei cedimenti sono stati considerati i seguenti carichi:



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	28 DI 38

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 ($q_d = q_k = 14.4$ kPa);
- Viene omesso nell'analisi il sovraccarico da traffico ferroviario in accordo a quanto specificato in MDP RFI, Doc. Rif. [3].

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>29 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	29 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	29 DI 38								

9 RILEVATO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo *Slide 7.0 - Rocscience*. Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche.

Il software determina la superficie di scorrimento critica caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra la resistenza di progetto del sistema R_d (momenti stabilizzanti) e l'azione di progetto E_d (momenti ribaltanti). Il programma riduce la resistenza con il fattore parziale sulle resistenze del terreno γ_R (pari a 1.1 e 1.2 rispettivamente per le condizioni statiche e sismiche), pertanto le verifiche sono soddisfatte se il coefficiente di sicurezza F è maggiore di 1.

Il criterio di resistenza dei terreni utilizzato è quello di Mohr-Coulomb, e quindi i coefficienti di sicurezza si applicano a tali indicazioni.

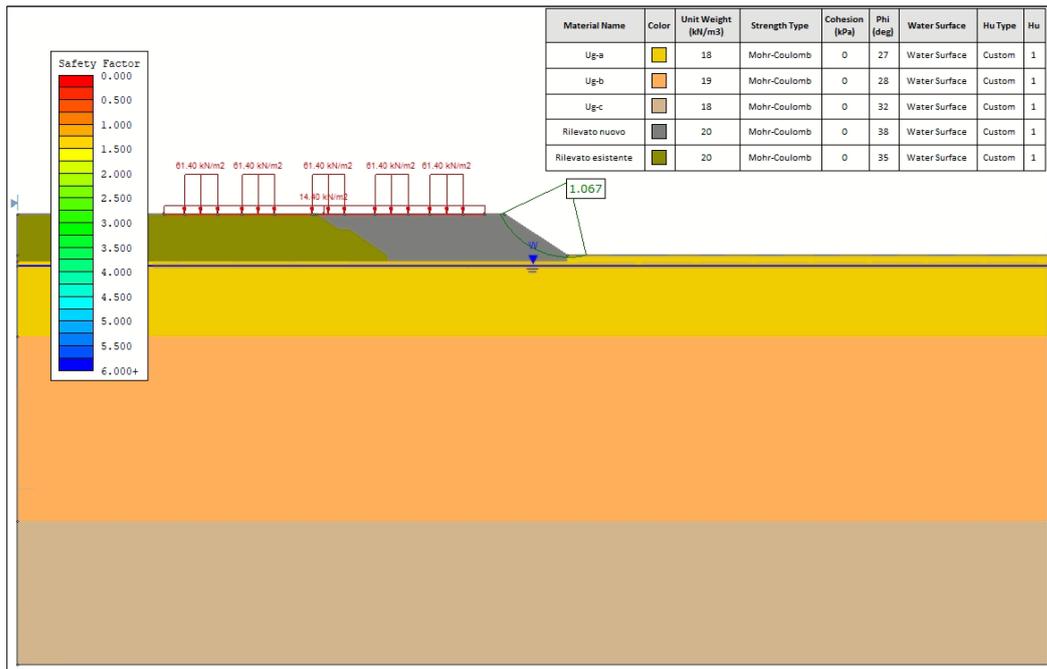


Figura 9 - Risultati Slide – Condizione Statica – $FS = 1.067 > 1$

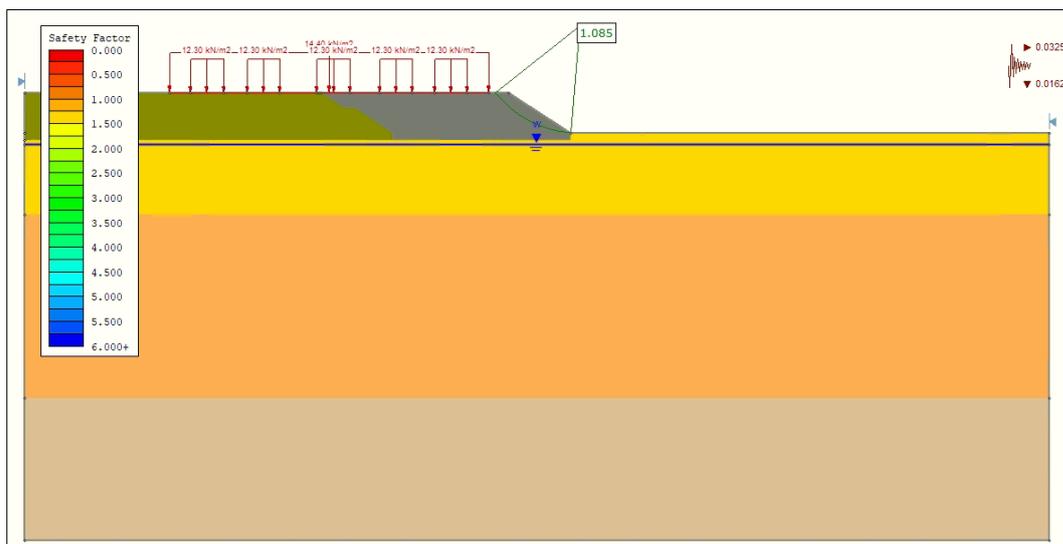


Figura 10 - Risultati Slide – Condizione Sismica (+kv) – $FS = 1.085 > 1$

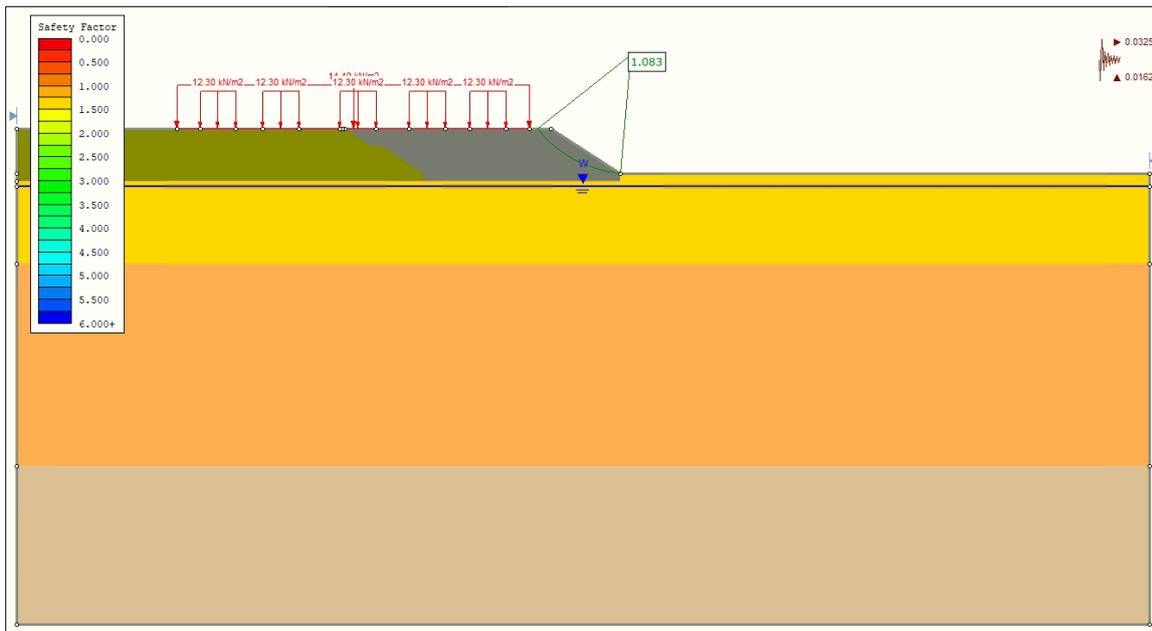


Figura 11 - Risultati Slide – Condizione Sismica (-kv) – FS = 1.083 > 1

Dal momento che il F.S. minimo è pari a 1.067 il rilevato risulta in sicurezza.

	PROGETTO DEFINITIVO AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO LIGURE ZONA INDUSTRIALE FASE II					
	RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO	PROGETTO IV0H	LOTTO 02	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO RI0000 001	REV. A

10 RILEVATO - VERIFICHE DEI CEDIMENTI

La verifica SLE dei possibili spostamenti (cedimenti) conseguibili a seguito della formazione del rilevato in accosto all'esistente piattaforma ferroviaria è stata condotta attraverso la determinazione del campo di spostamenti con il codice di calcolo *Rocscience-Settle 3D*, che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, secondo la teoria di Boussinesq, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali. Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità delle varie unità geotecniche. In merito a queste ultime, si precisa che la natura incoerente degli strati di maggiore interesse per deformabilità e profondità (Ug-a, Ug-b e Ug-c in particolare) implica che l'esplicazione delle deformazioni determinate dai nuovi carichi (peraltro di modesta entità) non siano differite nel tempo, ma siano maturabili nel corso della realizzazione del rilevato stesso.

Come sezione di riferimento si è scelta quella con altezza massima, riportata in Figura 7 (Sez. 4, pk 44+434).

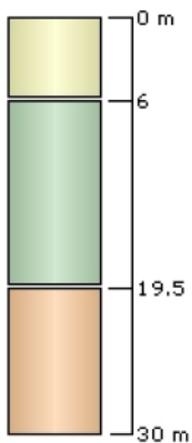
Considerato l'approccio allo studio delle deformazioni indotte, si considerano due step di analisi non vincolate alla cronologia delle attività:

- Step 1: Realizzazione del rilevato esistente e del ballast ferroviario (Figura 13);
- Step 2: Realizzazione del nuovo rilevato in accosto e del ballast ferroviario (Figura 14).

Per le verifiche si sono estratti i campi di spostamento dalle due fasi di calcolo e si è valutata la differenza fra i due cedimenti al fine di determinare il cedimento totale atteso dovuto all'allargamento del rilevato e alla costruzione del ballast. Nella Figura 15 si mostra il campo di spostamenti totali calcolati alla fine del secondo step.

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Ug-a	6	0
2	Ug-b	13.5	6
3	Ug-c	10.5	19.5



Soil Properties

Property	Ug-a	Ug-b	Ug-c
Color			
Unit Weight [kN/m ³]	18	19	18
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	19	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	8000	10000	20000
E _{sur} [kPa]	12800	16000	32000

Figura 12 – Modello geotecnico utilizzato

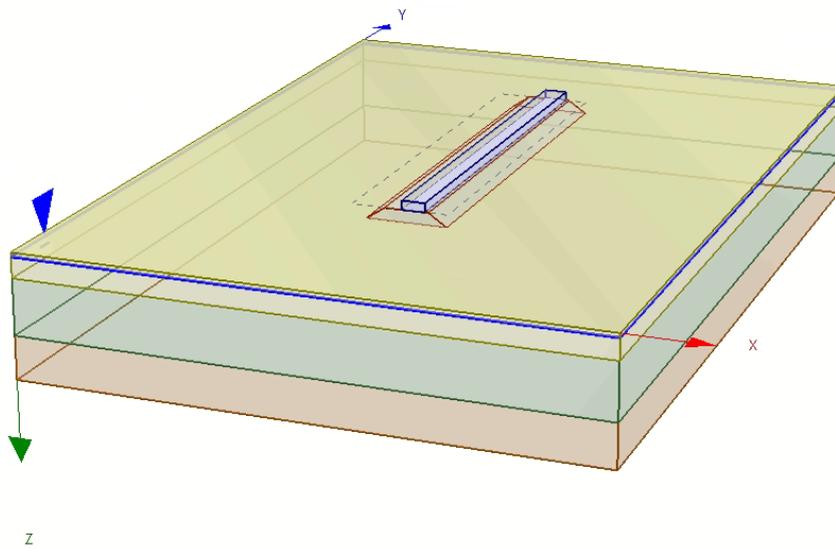


Figura 13 - Step 1: Realizzazione del rilevato esistente e del ballast ferroviario

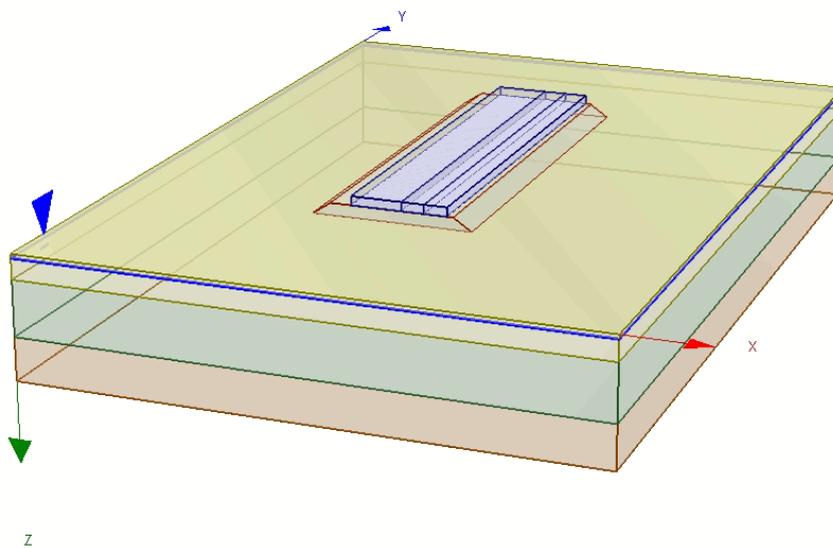


Figura 14 - Step 2: Realizzazione del nuovo rilevato in accosto e del ballast ferroviario

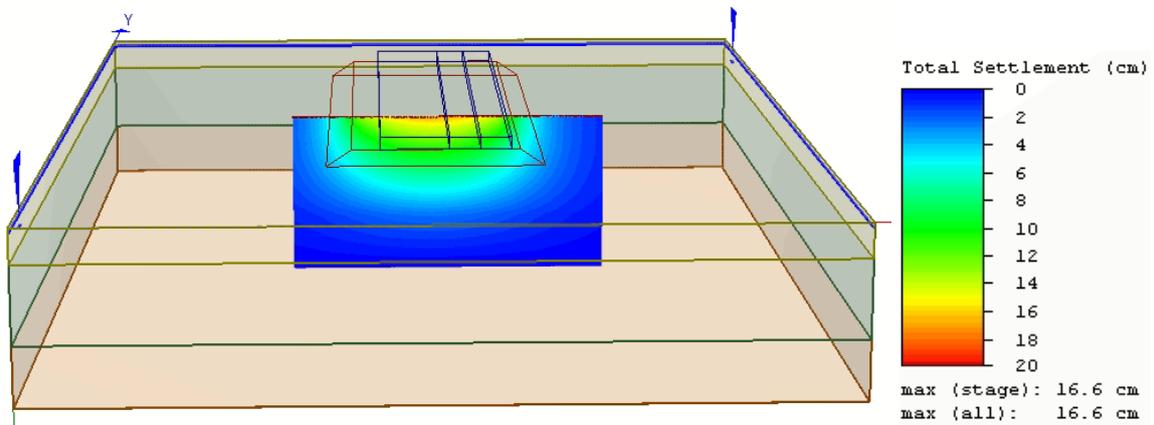


Figura 15 – Campo di spostamenti totali – Step 2

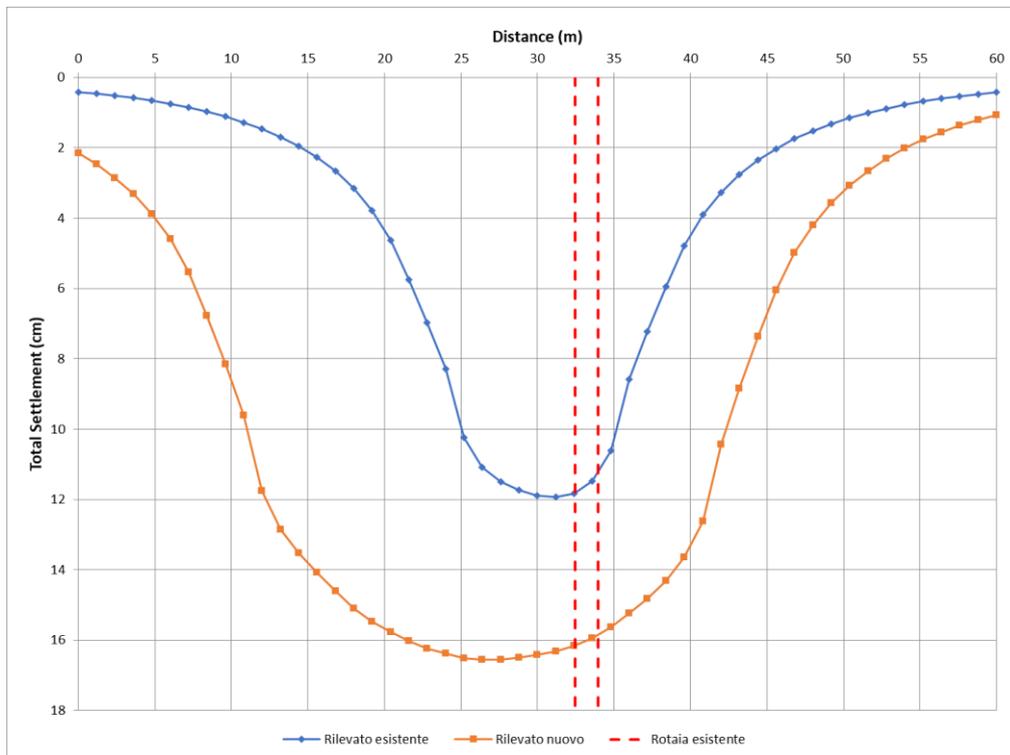


Figura 16 – Contour cedimenti totali a quota di piano campagna prima e dopo la costruzione del rilevato nuovo

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO</p> <p>LIGURE ZONA INDUSTRIALE</p> <p>FASE II</p>												
<p>RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>PROGETTO</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV0H</td> <td>02</td> <td>D 26 CL</td> <td>RI0000 001</td> <td>A</td> <td>36 DI 38</td> </tr> </tbody> </table>	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	36 DI 38
PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	36 DI 38								

10.1 Cedimenti sotto la linea di nuova realizzazione

Come riportato nei Doc. Rif. [3], RFI stabilisce un valore soglia degli spostamenti residui attesi, corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio (SLE), pari a 5 cm. Inoltre, il cedimento residuo deve essere inferiore al 10% del cedimento di lungo termine.

Considerata la natura granulare dei terreni e le permeabilità riscontrata tramite la prova Lefranc eseguita nell'unità UG-a ($k=2.29 \cdot 10^{-4}$ m/s), è lecito attendersi che tali cedimenti si esauriranno all'atto della applicazione dei rispettivi carichi, e quindi non risultano essere necessarie analisi di consolidazione. I cedimenti di lungo termine, e più in particolare quelli a far data dal termine dell'applicazione del carico del ballast e fino alla fine di vita utile dell'opera, sono da considerare nulli. La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

Si assume che il binario subisca deformazioni nel punto ubicato in corrispondenza della sezione di calcolo e che tali deformazioni si esauriscano già 3 m prima e 3 m dopo tale punto. Con tale assunzione, neutralizzando l'eventuale contributo della sopraelevazione di progetto h , lo scarto di livello trasversale SCARTXL coincide con il livello trasversale XL e quest'ultimo coincide a sua volta con ΔH . In base alla definizione di XL, pertanto, occorre verificare che non superi i 6 mm la differenza di abbassamento del terreno fra due punti distanti fra loro 1.5 m ed ubicati in corrispondenza delle due rotaie del binario esistente. La figura seguente mostra un SCARTXL pari a 3 mm e quindi la verifica risulta soddisfatta.

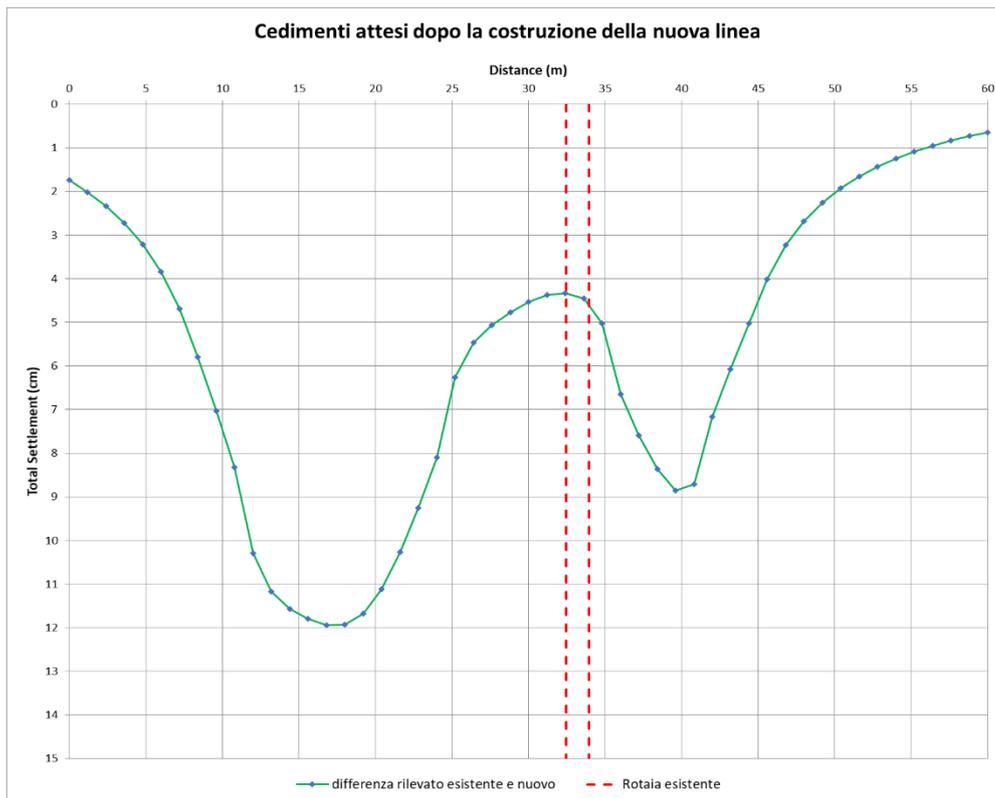


Figura 17 - Contour cedimenti sotto il binario ferroviario esistente

Si evidenzia che la presenza del materiale organico riscontrato a -11m da p.c del sondaggio PDVL-S2 (Vedasi Doc. [20]) non genera rilevanti problematiche in quanto risulta fuori dal volume significativo pari a 7.5 m (= 0.25 x B (larghezza del rilevato = 30)); Lancellotta 2008 (rif. Doc. [26]). Per ulteriori approfondimenti di tale aspetto si rimanda alla successiva fase progettuale.



PROGETTO DEFINITIVO
AGEGUAMENTO E POTENZIAMENTO IMPIANTO DI VADO
LIGURE ZONA INDUSTRIALE
FASE II

RILEVATI – RELAZIONE DI CALCOLO

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV0H	02	D 26 CL	RI0000 001	A	38 DI 38

11 ALLEGATI

- Tabulati di calcolo – analisi di stabilità globale
- Tabulati di calcolo – analisi dei cedimenti