

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO

VIABILITA'

Viabilità NV04 - Nuova viabilità terminale autostrada viaggiante

Opera provvisoriale NV04G - Relazione di calcolo

SCALA:

-

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

N M 0 Y 0 0 D 1 1 C L N V 0 4 0 0 0 0 6 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	A. Ingletti	Maggio 2021	M. Milovanovic	Maggio 2021	F. Perrone	Maggio 2021	D. Maranzano Maggio 2021



File:

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	SCOPO DEL DOCUMENTO.....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
4	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
5	MATERIALI UTILIZZATI	9
5.1	ACCIAIO PER CARPENTERIA METALLICA S275: PALANCOLA	9
6	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	10
7	MODELLO DI CALCOLO	11
7.1	PARAMETRI DI SPINTA DEL TERRENO	12
7.2	PARAMETRI DI DEFORMABILITÀ DEL TERRENO	13
7.3	ANALISI DEI CARICHI.....	14
8	APPROCCI DA NORMATIVA.....	15
9	PALANCOLA.....	17
9.1	FASI DI CALCOLO.....	17
9.2	SPOSTAMENTI ORIZZONTALI (INVILUPPO SLE).....	20
9.3	CEDIMENTI PIANO CAMPAGNA.....	21
9.4	SOLLECITAZIONI (INVILUPPO SLU).....	26
9.5	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	28
9.6	VERIFICHE STRUTTURALI.....	30
10	CONCLUSIONI	32

1 PREMESSA

Il presente documento viene emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi alla Progettazione definitiva del Nodo di Novara, 1^ Fase PRG di Novara Boschetto.

Quanto riportato di seguito consentirà di verificare che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti all'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

La presente relazione ha per oggetto le analisi e le verifiche della palanca provvisoria relativa alla viabilità NV04 prevista nell'ambito della Progettazione definitiva del Nodo di Novara, 1^ Fase PRG di Novara Boschetto.

L'opera provvisoria è costituita da una palanca tipo Larssen L607k di altezza 9 m.

Ai fini dei calcoli si individua la seguente sezione di studio, con riferimento a quanto riportato al § 6.5.2.2 delle NTC 2018 l'altezza di scavo è incrementata nel calcolo:

$H_{scavo,max}$ (m)	$H_{scavo,calcolo}$ (m)	Tipo palanca	Altezza palanca (m)
1.80	2.00	Larssen L607k	9.00

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- D.M. 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni “
- 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.
- UNI EN 1992-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni F.S. delle quali si è tenuto conto.

- RFI_DTC_INC_PO_SP_IFS_001_A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario.
- RFI_DTC_INC_PO_SP_IFS_002_A Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria.
- RFI_DTC_INC_PO_SP_IFS_005_A Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia.
- RFI_DTC_INC_CS_SP_IFS_001_A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.
- RFI_DTC_INC_CS_LG_IFS_001_A Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra.

4 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti elaborati di progetto definitivo:

Nuova Viabilità NV04 - Nuova viabilità terminale autostrada viaggiante	
Corografia di inquadramento - Stato di fatto	NMOY 0 0 D 1 1 C 6 NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Corografia di inquadramento - Stato di progetto	NMOY 0 0 D 1 1 C 6 NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Planimetria di progetto 1 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Planimetria di progetto 2 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 2 A
Planimetria di progetto 3 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 3 A
Planimetria di progetto 4 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 4 A
Planimetria di progetto 5 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 5 A
Planimetria di progetto 6 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 6 A
Planimetria di tracciamento 1 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 7 A
Planimetria di tracciamento 2 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 8 A
Planimetria di tracciamento 3 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 0 9 A
Planimetria di tracciamento 4 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 0 A
Planimetria di tracciamento 5 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 1 A
Planimetria di tracciamento 6 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 2 A
Planimetria di tracciamento 7 di 7	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 3 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 1 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 4 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 2 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 5 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 3 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 6 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 4 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 7 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 5 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 8 A
Planimetria della segnaletica e delle barriere 6 di 6	NMOY 0 0 D 1 1 P 8 NV 0 4 0 0 0 1 9 A
Sezioni tipo 1 di 2	NMOY 0 0 D 1 1 W B NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Sezioni tipo 2 di 2	NMOY 0 0 D 1 1 W B NV 0 4 0 0 0 0 2 A
Profilo longitudinale stradale 1 di 3	NMOY 0 0 D 1 1 F 7 NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Profilo longitudinale stradale 2 di 3	NMOY 0 0 D 1 1 F 7 NV 0 4 0 0 0 0 2 A
Profilo longitudinale stradale 3 di 3	NMOY 0 0 D 1 1 F 7 NV 0 4 0 0 0 0 3 A
Sezioni trasversali stradali tav. 1 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 1 A
Sezioni trasversali stradali tav. 2 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 2 A
Sezioni trasversali stradali tav. 3 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 3 A
Sezioni trasversali stradali tav. 4 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 4 A
Sezioni trasversali stradali tav. 5 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 5 A
Sezioni trasversali stradali tav. 6 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 6 A
Sezioni trasversali stradali tav. 7 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 7 A
Sezioni trasversali stradali tav. 8 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 8 A
Sezioni trasversali stradali tav. 9 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 0 9 A
Sezioni trasversali stradali tav. 10 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 1 0 A
Sezioni trasversali stradali tav. 11 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 1 1 A
Sezioni trasversali stradali tav. 12 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 1 2 A
Sezioni trasversali stradali tav. 13 di 35	NMOY 0 0 D 1 1 W 9 NV 0 4 0 0 0 1 3 A

RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOY	00	D 11 CL	NV0400 005	A	8 di 32

Sezioni trasversali stradali tav. 14 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 4 A
Sezioni trasversali stradali tav. 15 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 5 A
Sezioni trasversali stradali tav. 16 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 6 A
Sezioni trasversali stradali tav. 17 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 7 A
Sezioni trasversali stradali tav. 18 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 8 A
Sezioni trasversali stradali tav. 19 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	1 9 A
Sezioni trasversali stradali tav. 20 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 0 A
Sezioni trasversali stradali tav. 21 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 1 A
Sezioni trasversali stradali tav. 22 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 2 A
Sezioni trasversali stradali tav. 23 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 3 A
Sezioni trasversali stradali tav. 24 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 4 A
Sezioni trasversali stradali tav. 25 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 5 A
Sezioni trasversali stradali tav. 26 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 6 A
Sezioni trasversali stradali tav. 27 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 7 A
Sezioni trasversali stradali tav. 28 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 8 A
Sezioni trasversali stradali tav. 29 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	2 9 A
Sezioni trasversali stradali tav. 30 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 0 A
Sezioni trasversali stradali tav. 31 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 1 A
Sezioni trasversali stradali tav. 32 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 2 A
Sezioni trasversali stradali tav. 33 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 3 A
Sezioni trasversali stradali tav. 34 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 4 A
Sezioni trasversali stradali tav. 35 di 35	NMOY	0 0 D	1 1 W 9	NV 0 4 0 0 0	3 5 A
Relazione idraulica di piattaforma stradale	NMOY	0 0 D	1 1 R I	NV 0 4 0 0 0	0 1 A
Planimetria idraulica e particolari tav 1 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 0 A
Planimetria idraulica e particolari tav 2 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 1 A
Planimetria idraulica e particolari tav 3 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 2 A
Planimetria idraulica e particolari tav 4 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 3 A
Planimetria idraulica e particolari tav 5 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 4 A
Planimetria idraulica e particolari tav 6 di 6	NMOY	0 0 D	1 1 P 8	NV 0 4 0 0 0	2 5 A
Tombino scatolare stradale 1.50x1.00 - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 1 A
Tombino scatolare stradale 1.50x1.20 - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 2 A
Tombino scatolare stradale 3.0x2.50 - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 3 A
Tombini scatolari stradali - T01-T05 - 1.50x1.00 - Carpenteria	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 1 A
Tombino scatolare stradale - T02 - 1.50x1.00 - Carpenteria	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 2 A
Tombino scatolare stradale - T06 - 1.50x1.00 - Carpenteria	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 3 A
Tombino scatolare stradale 1.50x1.20 - Carpenteria	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 4 A
Tombino scatolare stradale 3.00x2.50 - Carpenteria	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 5 A
Muro NV04G - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 4 A
Muro NV04G - Planimetria, profilo e sezioni tav 1/4	NMOY	0 0 D	1 1 B A	NV 0 4 0 0 0	0 1 A
Muro NV04G - Planimetria, profilo e sezioni tav 2/4	NMOY	0 0 D	1 1 B A	NV 0 4 0 0 0	0 2 A
Muro NV04G - Planimetria, profilo e sezioni tav 3/4	NMOY	0 0 D	1 1 B A	NV 0 4 0 0 0	0 3 A
Muro NV04G - Planimetria, profilo e sezioni tav 4/4	NMOY	0 0 D	1 1 B A	NV 0 4 0 0 0	0 4 A
Paratia di pali NV04D - Planimetria, profilo e sezione	NMOY	0 0 D	1 1 B X	NV 0 4 0 0 0	0 6 A
Paratia di pali NV04D - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 5 A
Opera provvisoriale NV04G - Relazione di calcolo	NMOY	0 0 D	1 1 C L	NV 0 4 0 0 0	0 6 A

5 MATERIALI UTILIZZATI

5.1 Acciaio per carpenteria metallica S275: palanca

f_{yk} = 275 MPa tensione caratteristica di snervamento

f_{yd} = $f_{yk} / 1.05 = 261.9$ MPa tensione caratteristica di calcolo

E_s = 210000 MPa modulo elastico

6 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Nel rispetto dell'elaborato contenente la definizione dei parametri geotecnici, la seguente tabella riepiloga la stratigrafia di calcolo adottata (valori caratteristici) con riferimento agli elaborati geotecnici (cfr. profilo geotecnico e relazione geotecnica).

Tipologia	Profondità da p.f. (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ (°)	E' (MPa)
Unità A	0.0 – 2.0	18.5	0	28	7.0
Unità D	2.0 – 4.3	18.5	0	27	9.0
Unità C	4.3 – 7.8	18.5	0	35	30.0
Unità B	7.8 – 12.3	20.0	0	42	47.5
Unità C	11.2 – 31.0	18.5	0	35	30.0

In accordo con quanto riportato negli elaborati grafici geologici e geotecnici, la falda è collocata alla profondità di 3.5 m da piano campagna.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

7 MODELLO DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo si impiega il programma di calcolo "PARATIEPLUS" della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

I parametri che caratterizzano il modello dunque possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

7.1 Parametri di spinta del terreno

I parametri di spinta sono:

pressione a riposo: $P'o = K_o \cdot \sigma'v$

con: $K_o =$ coefficiente di spinta a riposo.

$\sigma'v =$ tensione verticale efficace;

pressione attiva: $P'a = K_a \cdot \sigma'v - c' \cdot K_{ac}$.

con: $K_a =$ coefficiente di spinta attiva, funzione di φ' e δa ;

$K_{ac} = 2 \cdot (K_a)^{0.5}$;

$\delta a =$ angolo di attrito terreno-paratia;

pressione passiva: $P'p = K_p \cdot \sigma'v + c' \cdot K_{pc}$.

con: $K_p =$ coefficiente di spinta passiva, funzione di φ' e δp ;

$K_{pc} = 2 \cdot (K_p)^{0.5}$;

$\delta p =$ attrito terreno-paratia;

Il coefficiente di spinta a riposo è stato calcolato con la relazione di Mayne & Kulhavy:

$$k_{0,NC} = (1 - \sin \varphi')$$

Mentre i coefficienti di spinta attiva e passiva sono stati calcolati con la relazione di Lancellotta (2002) considerando un valore dell'angolo di attrito parete-terreno pari a 2/3 di φ' :

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

$$k_{a,p} = \left[\frac{\cos \delta}{1 \mp \sin \varphi'} \left(\cos \delta \pm \sqrt{\sin^2 \varphi' - \sin^2 \delta} \right) \right] e^{\pm 2\theta \tan \varphi'}$$

$$\theta_{p,a} = \arcsen \left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi'} \right) \pm \delta$$

7.2 Parametri di deformabilità del terreno

Per la definizione del modulo di Young si utilizza il modello elasto-plastico inserendo il valore di E manualmente. Il programma provvede automaticamente a calcolare le costanti di sottofondo per ogni fase di scavo come:

$$K_{monte} = \frac{E_m \cdot \Delta}{B_m} \quad e \quad K_{valle} = \frac{E_v \cdot \Delta}{B_v}$$

Dove Δ è il valore fornito dalla schematizzazione agli elementi finiti e B_m e B_v sono rispettivamente le estensioni laterali del cuneo di spinta attiva e passiva del terreno alla quota del baricentro del cuneo stesso, per ogni fase di scavo:

$$B_m = \frac{2}{3} \cdot A \cdot \tan \left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$B_v = \frac{2}{3} \cdot (A - H) \cdot \tan \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

con $A = \min(2H_{scavo}; H_{paratia})$

Il valore del modulo in fase incrudente si assume pari a due volte il modulo di primo carico:

$$E_{ur} = 2 \cdot E_{vc}$$

7.3 Analisi dei carichi

I carichi considerati nel modello di calcolo si riferiscono ai carichi permanenti strutturali associati alla spinta del terreno, ai carichi permanenti trasmessi dalla struttura della ferrovia ed i carichi variabili associati al traffico ferroviario, che si considerano come uniformemente distribuiti.

Il carico variabile associato al traffico ferroviario si determina in accordo con il § 5.2.2.2.1 delle NTC 2018, considerando il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno LM71 e il carico verticale dovuto al treno SW/2.

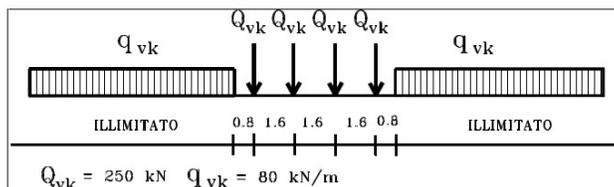


Figura 1 – Treno di carico LM71

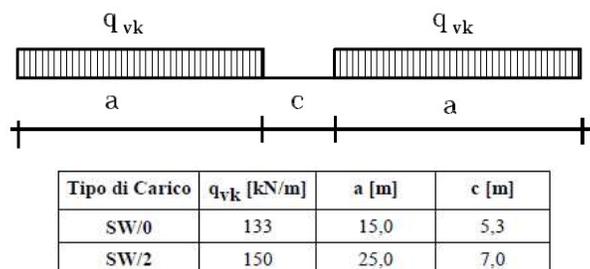


Figura 2 – Treno di carico SW

Per il treno di carico LM71 il carico distribuito trasmesso dai quattro assi restituisce un valore pari a 156.25 kN/m:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$

Considerando la distribuzione trasversale dei carichi sulla larghezza di 2.4 m (larghezza della traversa ferroviaria), si ricava il carico equivalente unitario, pari a 65.1 kN/m².

Per tener conto degli effetti dinamici associati al passaggio del convoglio, a tali carichi si deve applicare il coefficiente di adattamento α , che si assume pari a 1,10, come definito nella seguente tabella per i ponti di categoria A.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

Il carico associato al treno di carico LM71 assume un valore pari a **71.6** kN/m².

Per il treno di carico SW2, si considera un carico uniforme di 150 kN/m. Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 2.4 m, si ricava il carico equivalente unitario, pari a **62.5** kN/m². Nei calcoli riportati successivamente sarà considerato il treno di carico LM71, che restituisce una condizione peggiore rispetto al treno di carico SW2.

8 APPROCCI DA NORMATIVA

Le analisi di verifica della paratia sono state effettuate secondo le NTC 2018 tenendo conto di possibili SLU di tipo geotecnico e strutturale. Nello specifico sono state effettuate le verifiche dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per raggiungimento della resistenza del terreno con rotazione attorno ad un punto della paratia stessa;
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza strutturale della palanca

Le verifiche per il dimensionamento strutturale sono state effettuate con la Combinazione 1 (A1+M1+R1) che prevede coefficienti unitari sui parametri del terreno e sulle resistenze globali del sistema, mentre vengono amplificate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti del gruppo A1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

Le verifiche relative al dimensionamento geotecnico sono state effettuate con la combinazione 2 dell'approccio 1 (A2+M2+R1) che prevede l'amplificazione delle azioni variabili e permanenti e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio, mentre risultano unitari i coefficienti γ_R sulla resistenza globale del terreno.

In condizioni di esercizio sono stati valutati gli spostamenti dell'opera per valutare la compatibilità con la funzionalità della stessa e con la sicurezza e funzionalità di eventuali preesistenze.

		Coefficiente	EQU ¹	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00	1,00	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

Figura 3 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
		γ_M		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Figura 4 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A	FOGLIO 17 di 32

9 PALANCOLA

L'analisi è stata eseguita nelle sole condizioni statiche, trattandosi di un'opera a carattere provvisoriale.

9.1 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 3 fasi di calcolo:

- 1) Ricostruzione dello stato tensionale
- 2) Attivazione palanca, carichi accidentali ($q=71.6$ kPa carico ferroviario)
- 3) Scavo di 2.0 m (sovrascavo di calcolo)

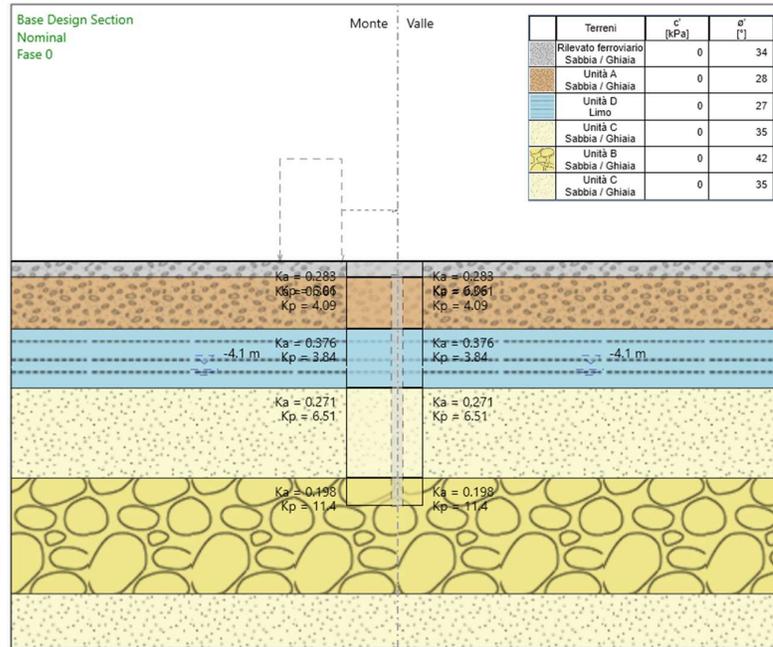


Figura 5 – Fase 1

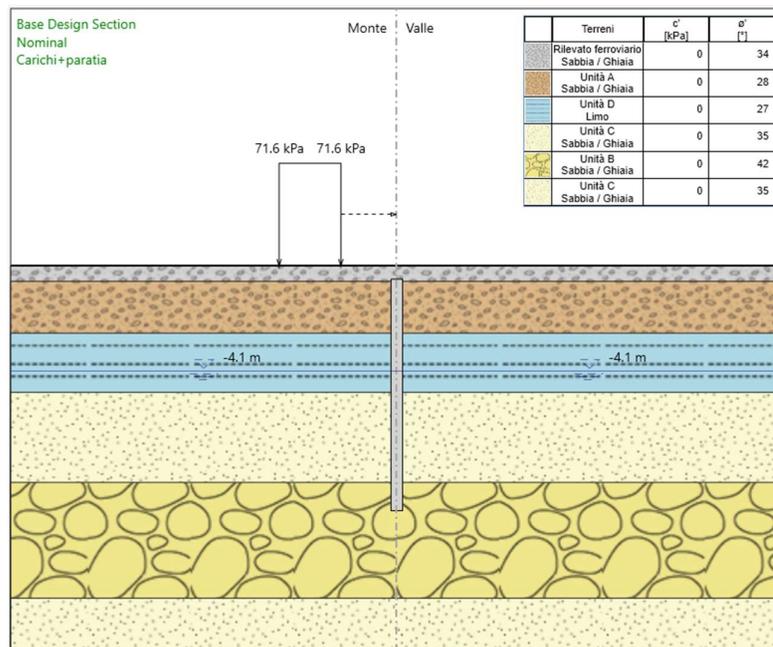


Figura 6 – Fase 2

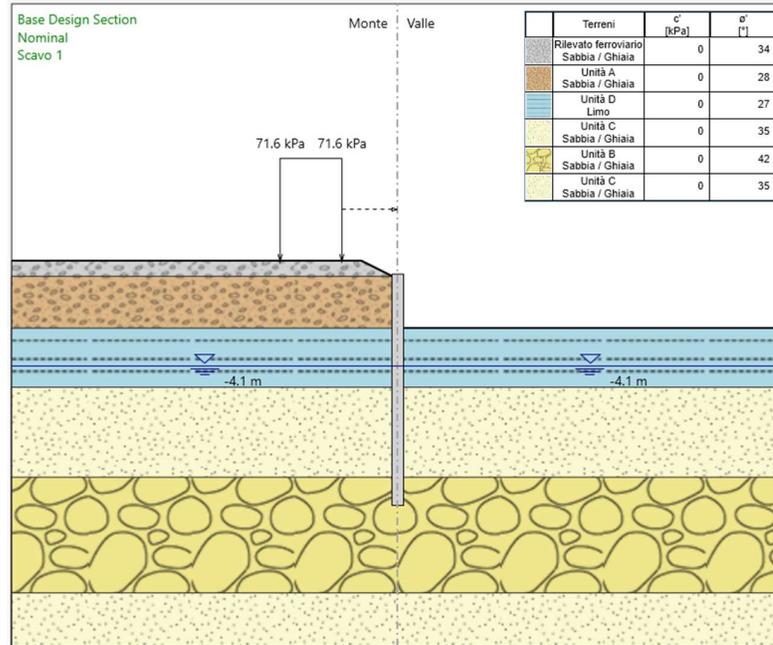


Figura 7 – Fase 3

9.2 Spostamenti orizzontali (Inviluppo SLE)

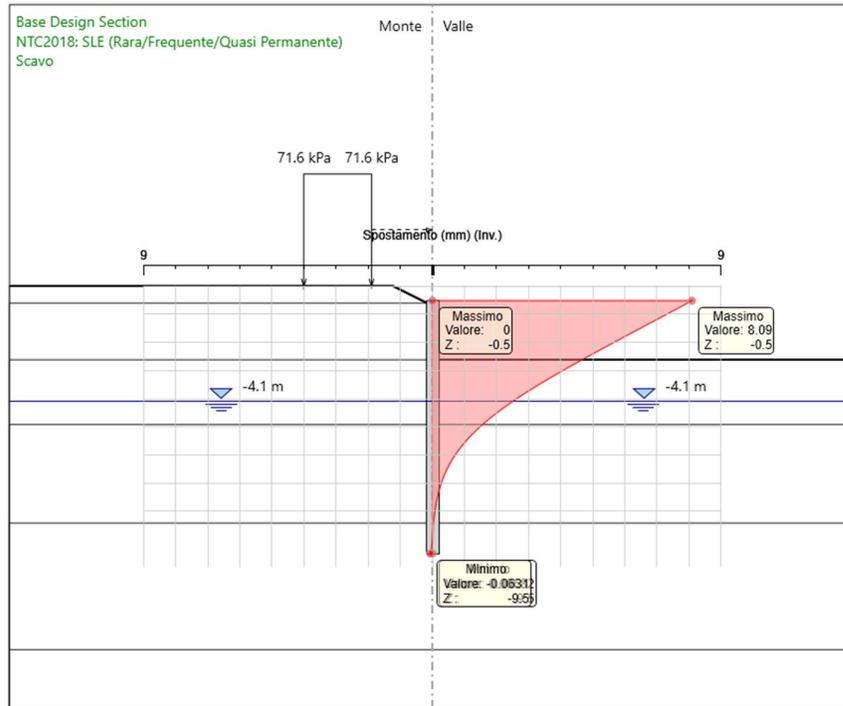


Figura 8 – Inviluppo spostamenti orizzontali SLE

Il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 8.09 mm e si ottiene in testa alla paratia.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

9.3 Cedimenti piano campagna

Lo scavo di una paratia induce spostamenti in superficie a tergo di essa a seguito della deformazione orizzontale della stessa.

Boone & Westland (2005) propongono un metodo per stimare gli spostamenti verticali che, in sostanza, può essere riassunto nei seguenti passi:

- 1) sulla base della geometria dell'opera e delle caratteristiche del terreno si calcola il massimo spostamento laterale della parete d_{hmax}
- 2) la deformata della parete viene suddivisa in due contributi principali, ossia uno spostamento rigido (*spandrel displacement*) e una deformazione convessa legata alla deformabilità della parete. Per ciascun contributo viene calcolata l'area sottesa al diagramma delle deformazioni (A_{hs} e A_{hc}) attraverso opportuna integrazione
- 3) i cedimenti verticali, a loro volta suddivisi in due contributi apportati dalle due componenti della deformata, vengono stimati a partire dal calcolo dell'area sottesa a ciascuno di essi (A_{vs} per la componente rigida e A_{vc} per quella convessa) come un'opportuna percentuale di A_{hs} o A_{hc} .

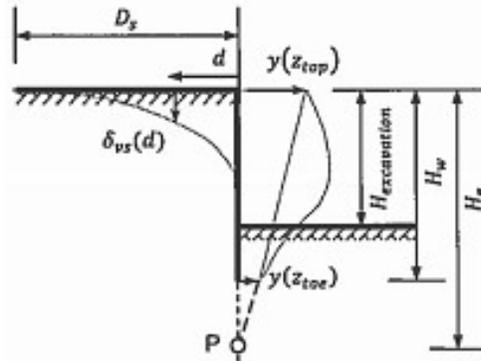
Le aree A_{vs} ed A_{vc} si calcolano in base alla seguente:

$$A_{vs}/A_{hs}=A_{vc}/A_{hc}=\eta \text{ (assunto in genere pari all'unità)}$$

- 4) Noti A_{vs} e A_{vc} , i massimi cedimenti δ_{vsmax} e δ_{vcmax} sono calcolati in base alle seguenti:

$$\delta_{vsmax}=(3 \cdot A_{vs})/D_s$$

Dove $D_s=1.2 H_e$ (H_e è valutato come l'altezza di una parete virtuale al di sopra di un punto di rotazione al di sotto del piede, coincidente con il punto P nella seguente figura:



$$\delta_{vs}(d) = \delta_{vsmax} \cdot \left(\frac{D_s - d}{D_s} \right)$$

Per quanto riguarda invece la parte convessa si ha:

$$\delta_{vcmax} = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_{vc}}{[1 - \Phi(0, d_{min}, i)] \cdot \sqrt{2 \cdot \pi \cdot i}}$$

$$\delta_{vc}(d) = \delta_{vcmax} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d - d_{min}}{i} \right)^2}$$

Dove si assume:

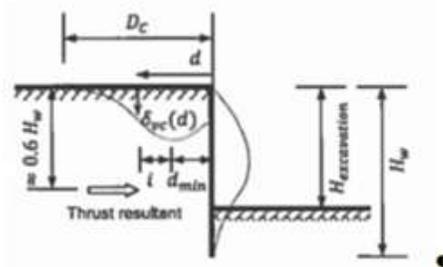
$$D_c \cong 2 \cdot (0.6 \cdot H_w)$$

$$d_{min} \cong 0.35 \cdot H_w$$

$$i = \frac{D_c - d_{min}}{4.5}$$

$$\Phi(0, d_{min}, i) = \int_0^{d_{min}} \frac{1}{i \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - d_{min}}{i} \right)^2} dx$$

Dove per il significato di D_c e d_{min} si faccia riferimento alla seguente figura



Boone & Westland (2006)

$A_{vs} / A_{hs} = A_{vc} / A_{hc}$

D_s / H

d_{min} / H

Inflection constant

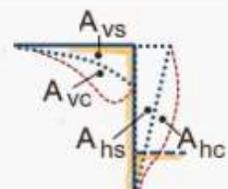
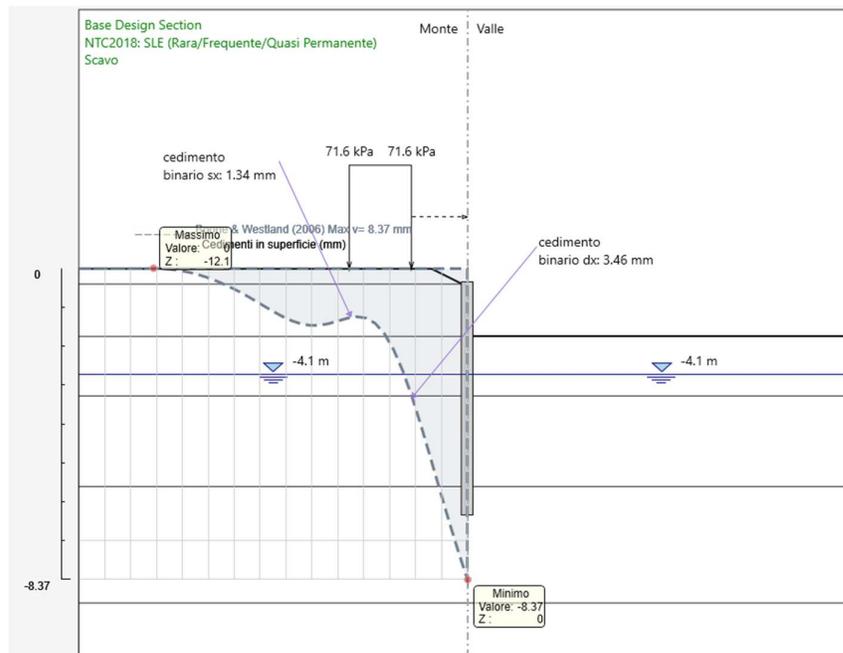



Figura 9 – Diagramma cedimenti terreno

Come si può notare dalla figura, i valori dei cedimenti ottenuti al piano campagna in corrispondenza delle rotaie sono i seguenti:

- Rotaia SX: 1.34 mm
- Rotaia DX: 3.46 mm

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

Con riferimento specifico alle prescrizioni del Mdp (cfr. RFIDTCSIMAIFS001D, al § 3.8.1.3.4.2), in merito alla valutazione dell'entità dei cedimenti differenziali in corrispondenza della sezione trasversale ai binari in corrispondenza delle rotaie si fa riferimento ai limiti di accettabilità geometrica definiti nella specifica tecnica RFI TCARSTAR01001D "Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h" e relativi allegati.

Al fine di operare un confronto tra i valori ottenuti e i valori ammissibili si riportano nella seguente tabella i risultati ottenuti in termini di cedimenti in corrispondenza delle rotaie dei binari in esercizio.

Cedimenti binario (mm) Rot. sx - Rot. dx	Cedimento differenziale binario XL (mm)
1.34-3.46	2.12

I valori del difetto di sopraelevazione ΔH (che coincide con il suddetto XL in relazione ai valori trascurabili della sopraelevazione h) desumibili da tale quadro sono molto limitati.

La seguente figura riporta la tabella estratta dalla specifica tecnica RFI TCARSTAR01001D "Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h (§ Parte III - Livelli Di Qualità Geometrica Correnti), in cui si evidenzia come i valori dei cedimenti differenziali ottenuti siano ampiamente al di sotto dei limiti di ammissibilità già con riferimento a partire dal 1° livello di qualità ($XL < 6$ mm). Inoltre con riferimento alla verifica della condizione sullo sghembo, ipotizzando cautelativamente l'assenza di deformazioni nella sezione in corrispondenza della base di 3.0 m si ottiene:

$$\gamma = 1.34/3000 = 0.000447, \text{ valore inferiore al limite prescritto in relazione a tale verifica (0.0045)}$$

$$\gamma = 3.46/3000 = 0.001153, \text{ valore inferiore al limite prescritto in relazione a tale verifica (0.0045)}$$

III.6 LIVELLO TRASVERSALE

Difetti isolati.

	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	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < \text{SCARTXL} \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < \text{SCARTXL} \leq 8$
3° livello di qualità intervento anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < \text{SCARTXL} \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < \text{SCARTXL} \leq 12$
(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 I.r.s.		

n.b.: Quando ci sono superi delle tolleranze d'esercizio esposte nell'ultima riga della tabella va consultata la Parte IV – VALORI COMPORTANTI VINCOLI ALL'ESERCIZIO.

III.7 SGHEMBO

Difetti isolati.

Le seguenti prescrizioni vanno ad integrare quelle della Circolare L.41/344/7.9 del 28/09/87 sui valori limite dello sghembo del binario, che devono essere comunque rispettate.

	V ≤ 200 km/h		200 < V ≤ 300 km/h	
	γ base 3 m	γ base 9 m	γ base 3 m	γ base 9 m
1° livello di qualità	$\gamma_{3m} < 4,5$	$\gamma_{9m} < 3,5$	$\gamma_{3m} < 3,5$	$\gamma_{9m} < 2,7$
2° livello di qualità	$4,5 \leq \gamma_{3m} < 5,8$	$3,5 \leq \gamma_{9m} < 4,0$	$3,5 \leq \gamma_{3m} < 4,5$	$2,7 \leq \gamma_{9m} < 3,0$
3° livello di qualità	Per valori di γ superiori ai limiti di cui al "2° livello di qualità" si applica quanto riportato nella Parte IV, p.to IV.6			
(1) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla I.r.s. ATTENZIONE ai deviatori inseriti in curva				

n.b.: Quando ci sono superi dei valori del terzo livello va consultata la Parte IV – VALORI COMPORTANTI VINCOLI ALL'ESERCIZIO.

Figura 10 – RFI TCARSTAR01001D “Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h” Tabelle estratte da § Parte III - Livelli Di Qualità Geometrica Correnti

9.4 Sollecitazioni (Inviluppo SLU)

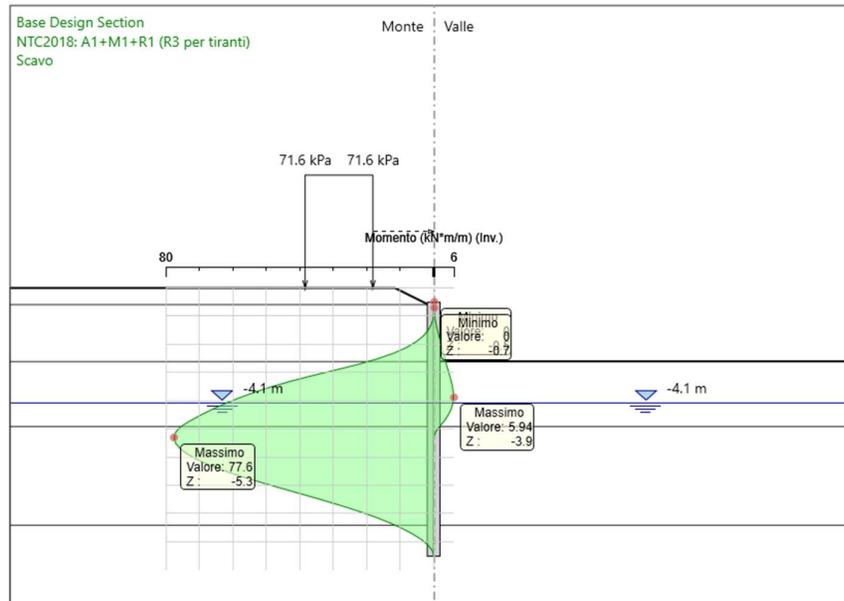


Figura 11 – Inviluppo momento flettente SLU

Il massimo momento flettente SLU è pari a 77.6 kNm/m e si ottiene alla profondità di 4.8 m dalla testa della paratia.

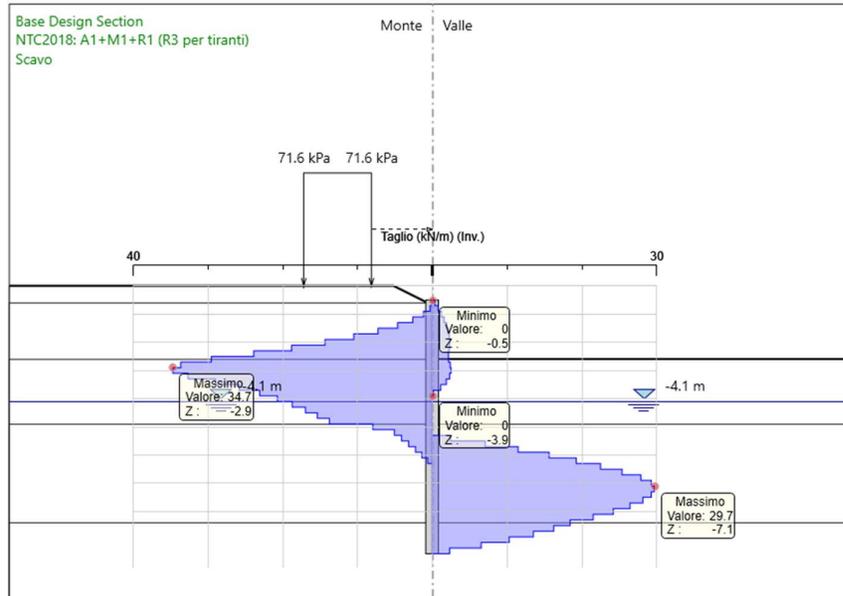


Figura 12 – Involuppo taglio SLU

Il massimo taglio SLU è pari a 34.7 kN/m e si ottiene alla profondità di 2.4 m dalla testa della paratia.

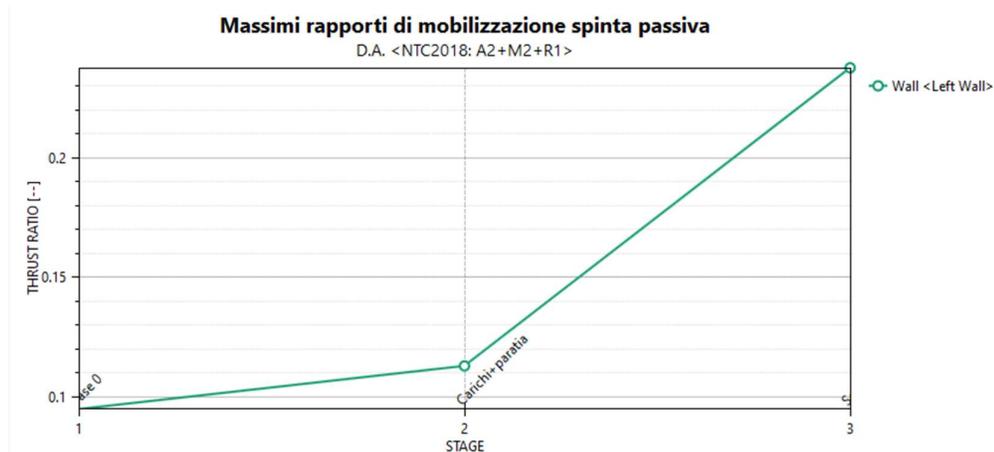
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
	RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A

9.5 Verifiche geotecniche

Stabilità dello scavo

La verifica si effettua seguendo l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R1). Per valutare la capacità geotecnica della struttura il programma fornisce per via diretta il raggiungimento di un risultato di convergenza nel modello. Quando tale situazione si presenta è possibile ritenere soddisfatta automaticamente la condizione di equilibrio attorno a un punto di rotazione.

Un modo indiretto per valutare la capacità geotecnica della struttura, consiste nel valutare la percentuale di mobilitazione della spinta passiva relativa al tratto infisso di paratia. L'entità di tale rapporto permette di valutare il livello di sfruttamento geotecnico della struttura rispetto le condizioni limite. Naturalmente tale rapporto deve essere minore o uguale all'unità, affinché non sia violato il criterio di resistenza della struttura.



Per la sezione di riferimento il massimo rapporto di mobilitazione della spinta passiva è pari a 0.238.

Stabilità globale

La verifica di stabilità si effettua in accordo con la teoria di Bishop in combinazione A2+M2+R2.

Il minimo coefficiente di sicurezza nei confronti della stabilità globale è:

$$FS = 4.595 > 1.10$$

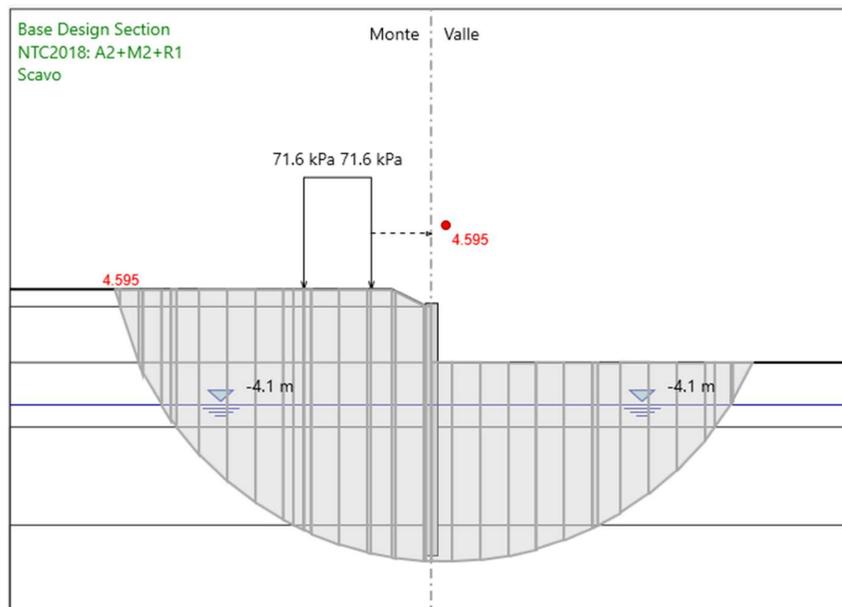


Figura 13 – Verifica di stabilità globale

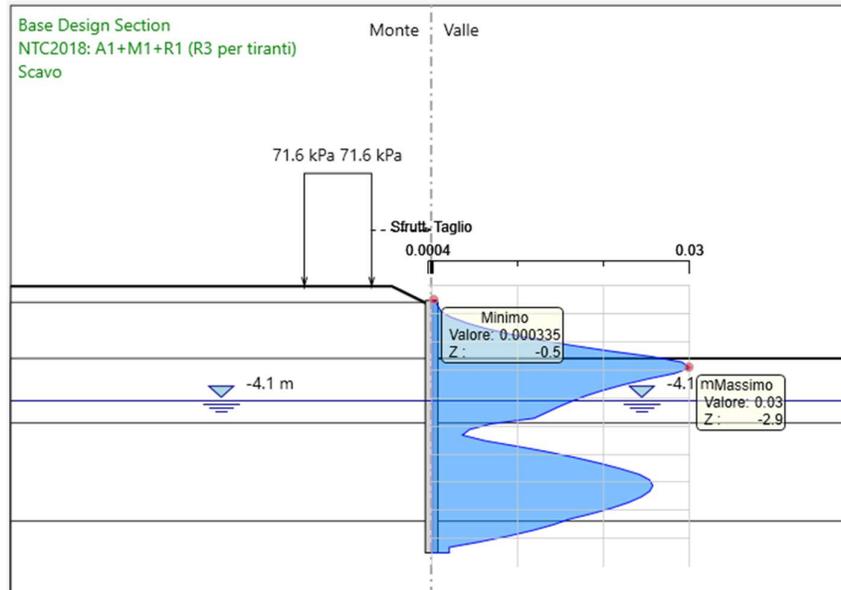


Figura 15 – Diagramma di sfruttamento a taglio (SLU)

Il massimo sfruttamento a taglio della paratia è pari a 0.03.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO DI NOVARA 1^ FASE PRG DI NOVARA BOSCHETTO					
RELAZIONE DI CALCOLO PALANCOLA PROVVISORIALE	COMMESSA NM0Y	LOTTO 00	CODIFICA D 11 CL	DOCUMENTO NV0400 005	REV. A	FOGLIO 32 di 32

10 CONCLUSIONI

La presente relazione ha per oggetto le analisi e le verifiche dell'opera provvisoria relativa alla viabilità NV04 prevista nell'ambito della Progettazione definitiva del Nodo di Novara, 1^ Fase PRG di Novara Boschetto. I risultati ottenuti mostrano che il dimensionamento delle strutture è stato effettuato nel rispetto dei requisiti di resistenza richiesti all'opera.