

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTE



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE
DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.**

CUP: J94F04000020001

PROGETTO ESECUTIVO

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

**SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE
CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA - PONTE GARDENA**

OPERE CIVILI

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTO PASSO

APPALTATORE QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A. 27.03.2020	RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE 16240 27.03.2020	SCALA: <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 20px; text-align: center; margin: 5px 0;">-</div>
---	---	--

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

I	B	0	A	0	0	E	Z	Z	C	L	N	V	0	9	7	0	0	0	1	B
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
A	Emissione	A. Zuin 	11.01.2020	D. Stella 	11.02.2020	S. Carraro 	11.01.2020
B	Emissione a seguito VPE e ODI	A. Zuin 	27.03.2020	D. Stella 	27.03.2020	S. Carraro 	27.03.2020



File: prototipo

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierobon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>2 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	2 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	2 di 104								

INDICE

1	PREMESSA.....	6
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	9
3.1	ACCIAIO DA C.A.....	9
3.2	ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA.....	9
3.3	CALCESTRUZZO PER MICROPALI.....	10
3.4	CHIODI VTR.....	10
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	11
5	AZIONI SISMICHE.....	12
6	DESCRIZIONE OPERE.....	15
7	OPERE DI SOSTEGNO: SOFTWARE DI CALCOLO.....	18
7.1	PLAXIS.....	18
7.1.1	<i>Premessa.....</i>	18
7.1.2	<i>Codice di calcolo.....</i>	18
7.1.3	<i>Analisi dei carichi.....</i>	21
7.1.4	<i>Parametri geotecnici.....</i>	22
7.1.5	<i>Elementi strutturali.....</i>	24
7.2	SLIDE.....	25
7.2.1	<i>Premessa.....</i>	25
7.2.2	<i>Codice di calcolo Slide.....</i>	25
7.2.3	<i>Principali parametri di input.....</i>	27
7.3	GROUP.....	28
7.3.1	<i>Premessa.....</i>	28
7.4	L-PILE.....	28

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>3 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	3 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	3 di 104								

7.4.1	Premessa.....	28
8	PARATIA TIPO 01-04.....	30
8.1	PREMESSA.....	30
8.2	MODELLO DI CALCOLO	30
8.3	RISULTATI.....	31
8.3.1	Analisi degli spostamenti della paratia.....	31
8.3.2	Analisi delle sollecitazioni	32
8.3.3	C phi reduction.....	33
8.4	VERIFICHE MICROPALI	35
9	PARATIA TIPO 02-03.....	37
9.1	PREMESSA.....	37
9.2	MODELLO DI CALCOLO	37
9.3	RISULTATI.....	38
9.3.1	Analisi degli spostamenti della paratia.....	38
9.3.2	Analisi delle sollecitazioni	39
9.3.3	C phi reduction.....	40
9.4	VERIFICHE MICROPALI	41
10	PARATIA TIPO 05-06-A.....	43
10.1	PREMESSA.....	43
10.2	MODELLO DI CALCOLO	43
10.3	RISULTATI.....	44
10.3.1	Analisi degli spostamenti della paratia.....	44
10.3.2	Analisi delle sollecitazioni	45
10.3.3	C phi reduction.....	47
10.4	VERIFICHE MICROPALI	48
10.5	VERIFICHE PUNTELLO	50

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosen</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>4 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	4 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	4 di 104								

10.6	VERIFICHE CORDOLO IN TESTA	52
11	PARATIA TIPO 05-06-B.....	55
11.1	PREMESSA.....	55
11.2	MODELLO DI CALCOLO	55
11.3	RISULTATI.....	56
11.3.1	<i>Analisi degli spostamenti della paratia.....</i>	56
11.3.2	<i>Analisi delle sollecitazioni</i>	57
11.3.3	<i>C phi reduction.....</i>	59
11.4	VERIFICHE MICROPALI	60
11.5	VERIFICHE CORDOLO IN TESTA	62
11.5.1	<i>Verifica strutturale</i>	62
11.5.2	<i>Verifiche dello stato tensionale</i>	64
11.6	VERIFICHE CENTINE.....	65
12	CONSOLIDAMENTO SOTTOBINARIO.....	68
12.1	PREMESSA.....	68
12.2	MODELLO DI CALCOLO	68
12.3	RISULTATI.....	69
12.3.1	<i>Analisi degli spostamenti</i>	69
12.4	VERIFICHE BLOCCO DI CONSOLIDAMENTO	70
13	CHIODATURA VASCA DI VARO.....	73
13.1	PREMESSA.....	73
13.2	MODELLO DI CALCOLO	73
13.3	RISULTATI PLAXIS.....	74
13.3.1	<i>Analisi degli spostamenti della paratia.....</i>	74
13.3.2	<i>Analisi delle sollecitazioni</i>	76
13.3.3	<i>C phi reduction.....</i>	76

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosdon</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>5 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	5 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	5 di 104								

13.4	RISULTATI SLIDE	78
13.5	VERIFICHE CHIODI	79
14	PLINTO SOSTEGNO SOLETTA DI VARO.....	81
14.1	PREMESSA.....	81
14.2	MODELLO DI CALCOLO L-PILE	81
14.3	RISULTATI.....	82
14.4	VERIFICHE MICROPALI	83
14.4.1	<i>Verifiche geotecniche</i>	83
14.4.2	<i>Verifiche strutturali</i>	85
15	PONTE GUIDO.....	87
15.1	PREMESSA.....	87
15.2	MODELLO DI CALCOLO GROUP	89
15.3	RISULTATI.....	91
15.3.1	<i>Plinto tipo A: n. 1 appoggi</i>	91
15.3.2	<i>Plinto tipo B: n. 2 appoggi</i>	93
15.4	VERIFICHE MICROPALI	95
15.4.1	<i>Verifiche geotecniche</i>	95
15.4.2	<i>Verifiche strutturali</i>	97
15.4.3	<i>Verifiche delle connessioni in testa ai micropali</i>	99
15.5	VERIFICHE PLINTO	101
15.5.1	<i>Plinto a 2 micropali (tipo A)</i>	101
15.5.2	<i>Plinto a 4 micropali (tipo B)</i>	102
16	ALLEGATO: RELAZIONE DI CALCOLO PONTE GUIDO LUCE = 20.40 METRI.....	104

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierodon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>6 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	6 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	6 di 104								

1 PREMESSA

La presente relazione si inserisce nell'ambito del progetto Esecutivo delle opere per l'adeguamento della viabilità podereale esistente e nella realizzazione di un sottopasso per l'attraversamento della linea Verona - Brennero dal Km 0+132 al km 1+056, e l'accesso alle aree di emergenza poste agli imbocchi delle interconnessioni di Ponte Gardena.

L'intervento si inserisce nell'ambito del SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA - PONTE GARDENA, per l'ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA (INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i).

Il presente documento in particolare si concentra nel dimensionamento e nelle verifiche delle opere provvisionali da realizzarsi in adicenza del sottopasso ferroviario, necessarie al fine di sostenere il terreno nelle fasi di scavo per la futura realizzazione dello scatolare, delle rampe di accesso e della vasca di sollevamento.

L'esecuzione del sottopasso ferroviario prevede la spinta della soletta di copertura del futuro scatolare sottobinario sotto la linea ferroviaria, previa esecuzione della stessa nella vasca di varo, a est della linea ferroviaria, e il successivo completamento dello scatolare. Viene posta attenzione al viadotto autostradale della A22 che insiste a qualche decina di metri dalla vasca di varo della soletta.

La soletta di copertura ha dimensioni in direzione ortogonale all'asse della ferrovia pari a circa 15.6 metri, mentre la larghezza della soletta in direzione parallela all'asse ferroviario è pari a circa 18 metri. Lo spessore della soletta è pari a 110 cm.

Il varo della soletta sotto la linea ferroviaria avviene per spinta idraulica su platea in c.a., previo montaggio di adeguato ponte provvisorio omologato RFI. I martinetti di spinta sono contrastati da un blocco di spinta in c.a. che viene gettato contro ad una parete chiodata precedentemente realizzata. La parete chiodata, realizzata al fine di sostenere il terreno a monte per raggiungere il fondo scavo per la platea di varo, è caratterizzata da chiodi autoperforanti Sirive R51 o equivalenti posti con maglia di 2x2metri circa.

Le fasi successive al varo della soletta prevedono la sottoescavazione della soletta stessa ed il completamento dello scatolare sottobinario, possibile grazie al sistema di berlinesi che sorreggono il terreno nei tratti in cui scavo risulta essere maggiore e in adiacenza al sottopasso ferroviario. Le berlinesi sono composte da micropali d= 280 mm, interasse i=0.4 metri e lunghezza variabile in funzione alla quota di scavo.

Nei tratti in cui lo scavo risulta essere minore e l'influenza del carico ferroviario poco influente, si procede con scavo in pendenza, con angolo di inclinazione pari a circa 40°.

In corrispondenza della vasca di sollevamento, che viene realizzata in adiacenza alla rampa di uscita del sottopasso, lato Isarco, si prevede di realizzare uno scavo di circa 10 metri, sorretto da una berlinese di micropali che delimitano il perimetro dello scavo. I micropali hanno diametro d=280 mm, interasse i=0.4 metri e lunghezza L=15 metri. Al fine di limitare gli spostamenti della berlinese, si prevede di adottare 2 livelli di travi HEB300 che fungono da cerchiatura dello scavo.

In corrispondenza della rampa di uscita, lato Isarco, nel tratto in cui lo scavo risulta essere importante, al fine di limitare gli spostamenti in testa alla berlinese, si prevede un sistema di puntellazioni tramite tubolari di dimensioni 273/10 mm.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dierksen</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>7 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	7 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	7 di 104								

Si rimanda agli elaborati grafici per un maggior dettaglio.

Di seguito si riporta una vista dell'area oggetto di intervento.



Figura 1.1. Area oggetto di intervento

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierdon</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>8 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	8 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	8 di 104								

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa utilizzata per l'espletamento del presente documento è la seguente:

1. Decreto Ministeriale Infrastrutture 17 gennaio 2018: "Norme Tecniche per le Costruzioni".
2. Circolare esplicativa NTC 2018 del 11 febbraio 2019.
3. Commentario per le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018
4. Manuale di progettazione delle opere civili" (RFI DTC SI PS MA IFS 001)

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><small>Impresa Silvio Dierdon</small> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>9 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	9 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	9 di 104								

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Vengono di seguito riportate le caratteristiche dei materiali considerate nei calcoli.

3.1 Acciaio da C.A.

ACCIAIO DA C.A. - Rif. DM 17/01/2018			
tipo	B450C		
coeff. parziale per le resistenze SLU	γ_M	1.15	
resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	450.00	MPa
resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	540.00	MPa
rapporto $(f_t / f_y)_k$	$1,15 \leq (f_t / f_y)_k \leq 1,35$		
rapporto $(f_y / f_{y,nom})_k$	$(f_y / f_{y,nom})_k \leq 1,25$		
allungamento $(A_{gt})_k$	$(A_{gt})_k \geq 7,50 \%$		
resistenza di calcolo	f_{yd}	391.30	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{s,rara}$	360.00	MPa

3.2 Acciaio da carpenteria metallica

ACCIAIO DA CARPENTERIA - Rif. DM 17/01/2018			
qualità	S 355		
coeff. parziale per la resistenza delle sezioni	γ_{M0}	1.05	
coeff. parziale per la resistenza all'instabilità	γ_{M1}	1.05	
coeff. parziale per la resistenza all'instabilità negli elementi dei ponti	$\gamma_{M1,ponti}$	1.10	
coeff. parziale per la resistenza delle sezioni tese con fori	γ_{M2}	1.25	
peso specifico	ρ	78.50	kN/mc
modulo elastico	E	210000	MPa
modulo di elasticità trasversale $G = E / (2 \times (1 + \nu))$	G	80769	MPa
coeff. di Poisson	ν	0.30	
coeff. espansione termica lineare	α	12×10^{-6}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
resistenza caratteristica a snervamento	f_{yk}	355.00	MPa
resistenza caratteristica a rottura	f_{tk}	510.00	MPa
resistenza di calcolo delle sezioni $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0}$	f_{yd}	338.10	MPa
resistenza di calcolo per l'instabilità $f_{yd,1} = f_{yk} / \gamma_{M1}$	$f_{yd,1}$	338.10	MPa
resistenza di calcolo per l'instabilità negli elementi dei ponti $f_{yd,1} = f_{yk} / \gamma_{M1}$	$f_{yd,1,ponti}$	322.73	MPa
resistenza di calcolo per sezioni tese con fori $f_{yd,2} = f_{yk} / \gamma_{M2}$	$f_{yd,2}$	284.00	MPa

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><small>Impresa Silvio Dierodon</small> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>10 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	10 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	10 di 104								

3.3 Calcestruzzo per micropali

CALCESTRUZZO - Rif. DM 17/01/2018			
classe di resistenza	C25/30		
resistenza cubica caratteristica a compressione	R_{ck}	30.00	MPa
peso specifico	ρ	25.00	kN/mc
classe d'esposizione	XC2		
coeff. espansione termica lineare	α	1×10^{-5}	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
coeff. di Poisson	ν_{fess}	0.00	
	$\nu_{non\ fess}$	0.20	
modulo elastico secante	E_{cm}	31447	MPa
resistenza cilindrica caratteristica a compressione	f_{ck}	24.90	MPa
resistenza cilindrica media a compressione	f_{cm}	32.90	MPa
coeff. parziale per resistenze SLU	γ_c	1.50	
coeff. riduttivo per resistenze di lunga durata	α_{cc}	0.85	
resistenza media a trazione assiale	f_{ctm}	2.56	MPa
resistenza media a trazione per flessione	f_{ctfm}	3.07	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 5%	$f_{ctk,0.05}$	1.79	MPa
resistenza caratteristica a trazione frattile 95%	$f_{ctk,0.95}$	3.33	MPa
resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	14.11	MPa
resistenza di calcolo a compressione per spessori < 5cm	$f_{cd,sp<5}$	11.29	MPa
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.19	MPa
resistenza di calcolo a trazione per spessori < 5cm	$f_{ctd,sp<5}$	0.96	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara)	$\sigma_{c,rara}$	14.94	MPa
tensione ammissibile per combinazione caratteristica (rara) per spessori < 5cm	$\sigma_{c,rara,sp<5}$	11.95	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,q.p.}$	11.21	MPa
tensione ammissibile per combinazione quasi permanente per spessori < 5cm	$\sigma_{c,q.p.,sp<5}$	8.96	MPa
resistenza tangenziale caratteristica di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bk}	4.03	MPa
resistenza tangenziale di calcolo di aderenza per barre $\varnothing \leq 32$	f_{bd}	2.69	MPa

3.4 Chiodi VTR

<i>Barre in VTR $\varnothing 25\text{ mm}$</i>	
Modulo elastico:	46000 MPa - UNI EN13706-2 e 13706-3
Resistenza a trazione caratteristica	750 MPa - UNI EN ISO 527-4
Resistenza a flessione caratteristica	750 MPa - UNI EN ISO 14125
Resistenza a taglio caratteristica	100 MPa - UNI EN ISO 527-4

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierodon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>11 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	11 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	11 di 104								

4 PARAMETRI GEOTECNICI

Alla luce dei sondaggi realizzati nel sito di interesse, in particolare in riferimento al sondaggio S1 realizzato in adiacenza alla rampa di uscita, si definisce il modello geotecnico utilizzato per il dimensionamento delle opere (si fa riferimento alla "Relazione geotecnica" codice IB0A00EEZZRBNV0900001). Il terreno in esame presenta una stratigrafia omogenea composta da uno strato superficiale sabbioso ghiaioso e da uno strato ghiaioso in profondità. Di seguito, in Tabella 4.1, i parametri geotecnici adottati.

Tabella 4.1 Modello geotecnico

TERRENO	Quota (m s.l.m.m.)	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C (KPa)	E (MPa)
SABBIA GHIAIOSA	Da 484 a 477	18	35	0	27
GHIAIA	Da 477 a 454	21	36	0	50

La falda è stata individuata a quota di circa 469.10 m s.l.m.m.

Puntualmente, nella zona relativa al sottopasso, in corrispondenza della chiodatura lato monte che verrà realizzata, si adotta un modello geotecnico composto sia da terreno ghiaioso, sia da uno strato di roccia filladica: tale scelta nasce, alla luce dei sondaggi realizzati in adiacenza alla futura vasca di varo, in particolare in riferimento ai sondaggi BV4p, BV5 e BV6. Il modello geotecnico a cui si fa riferimento è definito di seguito

Tabella 4.2 Modello geotecnico chiodatura vasca di varo

TERRENO	Quota (m s.l.m.m.)	γ (KN/m ³)	Φ (°)	C (KPa)	E (MPa)
ROCCIA FILLADICA	Da 500 a 477	21	36	15	50
GHIAIA	Da 477 a 454	21	36	0	50

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>12 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	12 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	12 di 104								

5 AZIONI SISMICHE

La normativa sismica vigente impone, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, la stima del fattore di amplificazione dell'energia sismica causato dai diversi terreni in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica.

In mancanza di studi specifici della risposta sismica locale, la normativa vigente definisce cinque categorie di suolo di fondazione (A,B,C,D,E) a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità delle onde di taglio decrescenti e quindi ad effetti amplificativi crescenti.

I coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica, oltre all'accelerazione a_g , sono stati ottenuti attraverso il programma sperimentale "Spettri di risposta ver.1.0.3", messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, che fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

In questo caso, facendo riferimento a quanto riportato nel progetto definitivo, "Relazione geotecnica", codice IBL10AD26RBNV0900001, il sottosuolo appartiene alla tale **categoria C**: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Per quanto riguarda la categoria topografica del sito, è stata scelta la **categoria T2**, cioè "Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ".

La vita nominale dell'opera viene assunta pari a 75 anni, in accordo con quanto definito da progetto definitivo.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso diverse; nel nostro caso si fa riferimento alla Classe III.

Gli spettri di risposta per uno stato limite ultimo SLV (Stato Limite di Vita), con relativi punti e parametri, ottenuti col programma "Spettri di risposta ver.1.0.3" sono riportati di seguito (Figura 5.1 e Figura 5.2).

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>13 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	13 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	13 di 104								

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

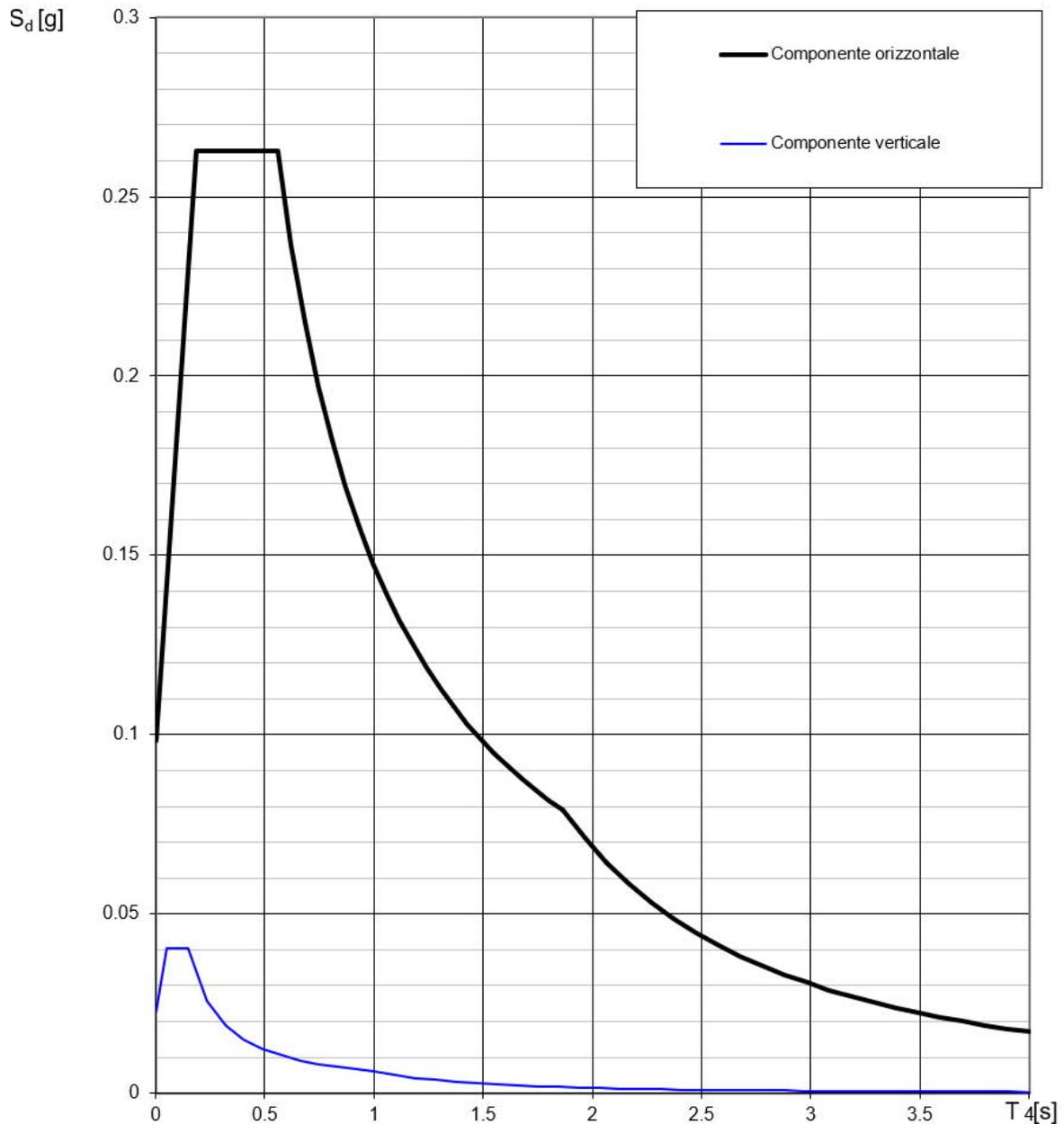


Figura 5.1. Grafico Spettri sismici di risposta per lo stato limite SLV.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosdon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>14 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	14 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	14 di 104								

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	
a_g	0.066 g
F_0	2.669
T_C	0.391 s
S_S	1.500
C_C	1.431
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.800
η	1.000
T_B	0.187 s
T_C	0.560 s
T_D	1.863 s

Espressioni dei parametri dipendenti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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	0.098
T_B ←	0.187	0.263
T_C ←	0.560	0.263
	0.622	0.237
	0.684	0.215
	0.746	0.197
	0.808	0.182
	0.870	0.169
	0.932	0.158
	0.994	0.148
	1.056	0.139
	1.118	0.132
	1.180	0.125
	1.242	0.118
	1.304	0.113
	1.366	0.108
	1.428	0.103
	1.490	0.099
	1.552	0.095
	1.614	0.091
	1.676	0.088
	1.739	0.085
	1.801	0.082
T_D ←	1.863	0.079
	1.964	0.071
	2.066	0.064
	2.168	0.058
	2.270	0.053
	2.371	0.049
	2.473	0.045
	2.575	0.041
	2.677	0.038
	2.779	0.035
	2.880	0.033
	2.982	0.031
	3.084	0.029
	3.186	0.027
	3.288	0.025
	3.389	0.024
	3.491	0.022
	3.593	0.021
	3.695	0.020
	3.796	0.019
	3.898	0.018
	4.000	0.017

Figura 5.2. Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV.

Visto che la vita utile dell'opera è inferiore a 2 anni, in quanto si prevede che la totalità dei lavori venga conclusa in un tempo inferiore, non viene considerata alcuna azione sismica nei calcoli.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>15 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	15 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	15 di 104								

6 DESCRIZIONE OPERE

Si definiscono di seguito le opere provvisionali previste per la realizzazione del sottopasso ferroviario e delle opere ad esso afferenti.

PARATIA TIPO 01-04

La paratia tipo 01 e tipo 04 servono da sostegno della sede ferroviaria per effetto dello scavo lato Est, nella parte più superficiale.

Si prevede di realizzare una paratia di micropali di diametro $d=280$ mm, interasse $i=0.4$ metri, lunghezza $L=8$ metri, armati con tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355. In testa alla paratia si prevede di realizzare un cordolo in c.a. di dimensioni 50x50 cm.

Le paratie in oggetto sono realizzate in corrispondenza della minor profondità di scavo del sottopasso.

Nei paragrafi successivi tale paratia viene analizzata e verificata attraverso il modello di calcolo denominato "paratia tipo 01-04" attraverso il codice di calcolo Plaxis descritto nel capitolo 7.

PARATIA TIPO 02-03

La paratia tipo 02 e tipo 03 servono da sostegno della sede ferroviaria per effetto dello scavo lato Est, nella parte più profonda.

Si prevede di realizzare una paratia di micropali di diametro $d=280$ mm, interasse $i=0.4$ metri, $L=15$ metri, armati con tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355. In testa alla paratia si prevede di realizzare un cordolo in c.a. di dimensioni 50x50 cm. L'altezza massima dello scavo risulta essere pari a circa 6.70 metri.

Nei paragrafi successivi tale paratia viene analizzata e verificata attraverso il modello di calcolo denominato "paratia tipo 02-03" attraverso il codice di calcolo Plaxis descritto nel capitolo 7.

PARATIA TIPO 05-06

La paratia tipo 05 e tipo 06 servono da sostegno della sede ferroviaria per effetto dello scavo lato Ovest, nella parte immediatamente a ridosso del rilevato ferroviario.

Si prevede di realizzare una paratia di micropali di diametro $d=280$ mm, interasse $i=0.4$ metri, lunghezza $L=15$ metri, armati con tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355. In testa alla paratia si prevede di realizzare un cordolo in c.a. di dimensioni 50x50 cm. L'altezza massima dello scavo risulta essere pari a circa 6.50 metri nella parte relativa alla sede stradale e di circa 9 metri nella parte relativa alla vasca di sollevamento. Si prevede di adottare una fila di puntelli tramite tubolari di dimensioni 273/10 mm in classe di acciaio S355, posti ad interasse di circa 2.50 metri nella parte relativa alla sede stradale, mentre nella zona di scavo massimo relativa alla vasca di sollevamento si prevede di adottare due livelli di cerchiatura dello scavo, realizzati tramite profili HEB300 in acciaio di classe S355.

Nei paragrafi successivi tale paratia viene analizzata e verificata attraverso il modello di calcolo denominato "paratia tipo 05-06-A" per la zona relativa allo scavo massimo pari a circa 6.50 metri. Per la zona relativa allo scavo pari a 9 metri in corrispondenza della vasca di sollevamento, si analizza e verifica la sezione di calcolo denominata "paratia 05-06-B" attraverso il codice di calcolo Plaxis descritto nel capitolo 7.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosen consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>16 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	16 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	16 di 104								

CONSOLIDAMENTO SOTTOBINARI

Il terreno sottobinario ai lati del futuro scavo per la realizzazione dello scatolare definitivo viene consolidato attraverso micropali inclinati eseguiti esternamente alla sede ferroviaria.

Si prevede di consolidare il terreno con micropali inclinati di diametro medio reso $D=200$ mm, armati con tubi VTR diametro 60 mm e spessore 10 mm, lunghezza variabile da $L=15$ metri a $L=10$ metri. Tali micropali vengono realizzati in ombrelli di 5 micropali su 10 file per lato, sia a destra che a sinistra dello scatolare per un totale di 200 micropali (per uno sviluppo di circa 1500 metri lineari) a consolidare un volume di terreno pari a circa 1350 m³, quindi circa 2 metri lineari di micropalo per metro cubo di terreno.

Nei paragrafi successivi tale sezione viene analizzata e verificata attraverso il modello di calcolo denominato "consolidamento sottobinario" attraverso il codice di calcolo Plaxis descritto nel capitolo 7.

CHIODATURA VASCA DI VARO

Si prevede di realizzare una chiodatura a monte della vasca di varo al fine di sostenere il terreno nella fase di scavo e realizzazione delle rampe di accesso al sottopasso.

Si adottano in totale 5 file di chiodi autoperforanti Sirive R51 o equivalenti disposti con maglia 2x2 metri circa. La lunghezza dei chiodi è pari a 16 metri. Il diametro reso dei chiodi risulta essere pari a 0.15 metri.

Nei paragrafi successivi tale sezione viene analizzata e verificata attraverso il modello di calcolo denominato "vasca di varo" attraverso il codice di calcolo Plaxis "descritto nel capitolo 7 e con analisi di stabilità attraverso il software di calcolo Slide, descritto nel capitolo 7

PLINTO SOSTEGNO SOLETTA DI VARO

La soletta che viene varata sotto i binari per il sostegno della linea ferroviaria è sostenuta da plinti su micropali. La soletta e i plinti vengono analizzati e verificati nella "Relazione di calcolo opere definitive sottopasso", codice IB0A00EZZCLNV0970002.

Si prevede di realizzare quattro plinti su micropali di dimensioni pari a 2.50x 2 metri e spessore pari a 60cm. I micropali di fondazione su cui poggiano i plinti sono 9 micropali di diametro $d=300$ mm, interasse $i=1$ metro circa, lunghezza $L=22$ metri, armati con tubolare di dimensioni 193.7/20 mm in acciaio di classe S355. I plinti sono disposti agli angoli della soletta di copertura del futuro sottopasso e servono come "appoggio" provvisorio della soletta durante la fase di scavo e realizzazione dello scatolare sottostante.

Si riportano quindi in questa relazione la verifica dei soli micropali recependo gli scarichi in testa palo definiti nella suddetta relazione e analizzando il singolo palo con il software di calcolo Lpile descritto nel capitolo 7.

PONTE GUIDO

In fase provvisoria propedeutica alla spinta della soletta viene posto in opera un ponte provvisorio omologato RFI (ponte Gui.Do $L=20.40$ metri).

Il ponte Gui.Do poggia su plinti su micropali di diametro $d=300$ mm, $L=16$ metri, armati con tubolare di dimensioni 193.7/20 mm in acciaio S355. Si realizzano due tipologie di plinti: quelli esterni poggianti su 2 micropali, quelli interni poggianti su 4 micropali. Le dimensioni dei plinti sono rispettivamente 1.50x0.6 metri e 1.95x1.20 metri, entrambi di spessore $s=0.6$ metri.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosen</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>17 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	17 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	17 di 104								

Si riportano quindi in questa relazione la verifica dei soli micropali recependo gli scarichi in testa plinto come definiti da relazione di calcolo del suddetto ponte omologato RFI con il software di calcolo Group descritto nel capitolo 7.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosen consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>18 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	18 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	18 di 104								

7 OPERE DI SOSTEGNO: SOFTWARE DI CALCOLO

7.1 Plaxis

7.1.1 Premessa

Per la modellazione del problema, e, in particolare, per l'analisi delle opere provvisorie, il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi e le relative verifiche strutturali, è stato impiegato il codice di calcolo Plaxis 2D, un programma bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per fasi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati.

Il programma PLAXIS è nato per specifiche esigenze di tipo geotecnico; esso permette di esaminare casi di stato piano di deformazione o di assialsimmetria.

I modelli vengono realizzati funzionali alla definizione degli spostamenti massimi attesi; si applicano perciò sollecitazioni agli stati limite di esercizio.

Per ottenere le conseguenti sollecitazioni allo stato limite ultimo, in accordo con quanto riportano nella Circolare esplicativa NTC 2018 del 11 febbraio 2019, si applicano i coefficienti direttamente alle sollecitazioni calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze, distinguendo le sollecitazioni prodotte da carichi permanenti, che verranno quindi moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari a $\gamma_G=1.3$, dalle sollecitazioni prodotte da carichi variabili, che verranno moltiplicate per un coefficiente amplificativo pari a $\gamma_Q=1.5$.

7.1.2 Codice di calcolo

Il programma PLAXIS 2D, impiegato per il calcolo delle sezioni, è stato realizzato da un gruppo di ricercatori della Delft University of Technology guidati dal Prof. P.A. Vermeer, con il supporto scientifico delle Università di Grenoble, Oxford e Stuttgart).

PLAXIS è un programma bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati.

Il programma PLAXIS è nato per specifiche esigenze di tipo geotecnico; esso permette di esaminare casi di stato piano di deformazione o di assialsimmetria.

La sua caratteristica peculiare è di utilizzare materiali con caratteristiche elastoplastiche, seguendo passo gli incrementi di carico (fino a grandi deformazioni, nel qual caso è possibile aggiornare la mesh) utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

Il modello utilizzato è invece un modello elastoplastico ad incrudimento tipo Hardening Soil Model (HSM).

Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti a forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento (essendo polinomi del 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti); di conseguenza il programma individua con accuratezza campi di tensione e di deformazione complessi anche con un limitato numero di elementi. Esiste la

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>19 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	19 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	19 di 104								

possibilità di mettere in conto la presenza di elementi lineari del tipo "beam", "truss" e "geotessili" resistenti solo a trazione, di considerare la presenza di molle elastoplastiche, e di ridurre le caratteristiche meccaniche del terreno a contatto con elementi di diversa natura.

I dati principali richiesti dal programma sono:

- geometria del problema (coordinate dei vertici di quadrilateri che vengono poi suddivisi in triangoli a 15 nodi, posizione di elementi beam, truss, geotessili, molle elastoplastiche, vincoli, falda);
- caratteristiche degli elementi di terreno:

γ_{dry} = peso totale dell'unità di volume emerso,

γ_{wet} = peso totale dell'unità di volume immerso,

ϕ' = angolo d'attrito interno,

ψ = angolo di dilatanza,

G = modulo di elasticità tagliante,

ν = coefficiente di Poisson,

c' = coesione,

- coefficienti di permeabilità in direzione orizzontale e verticale;
- tipo di comportamento (drenato o non drenato);
- caratteristiche degli elementi lineari:

EJ ed EA per gli elementi beam,

EA per gli elementi truss,

rigidezza elastica per elementi geotessili in trazione,

rigidezza e forza ultima per le molle elastoplastiche;

- definizione dei sistemi di carico;
- definizione delle pressioni idrostatiche, eventualmente variabili durante l'analisi del problema, o, quando sia richiesto, condizioni al contorno per il calcolo delle pressioni idrostatiche.

A seguire sono rappresentate le modellazioni adottate dal programma per:

- legame costitutivo fra la tensione deviatorica (differenza fra la tensione assiale σ_1 e la tensione di confinamento radiale σ_3) e la deformazione assiale (ϵ_1);

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>20 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	20 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	20 di 104								

- relazione fra ε_v (deformazione volumetrica $\Delta V/V_0$) e ε_l (deformazione assiale).

Il calcolo prevede in genere la suddivisione delle diverse fasi (corrispondenti all'applicazione di carichi, o a modifiche della configurazione geometrica per scavi o riporti, o a modifiche delle pressioni idrostatiche, o a dissipazione di pressioni neutre) in passi di calcolo, ed è possibile quindi seguire l'evoluzione delle condizioni del terreno parallelamente alle prevedibili fasi costruttive.

Il programma è concepito in modo tale da applicare per passi i carichi desiderati, aggiornando di volta in volta i valori delle deformazioni e delle tensioni.

All'interno di ogni passo di carico il programma perviene all'equilibrio attraverso una serie di iterazioni sfruttando la matrice di rigidità iniziale (metodo di Newton-Raphson modificato).

Il controllo della convergenza, al termine della i -esima iterazione viene effettuato attraverso la relazione:

$$\varepsilon_i = \frac{\|P_i\|}{\|\Sigma F\|}$$

dove:

- ε_i = errore della i -esima iterazione;
- $\|P_i\|$ = norma del vettore costituito dalle forze nodali non bilanciate; $\|P_i\|$ può essere definito come $\|\Sigma F - P_i\|$, dove P_i è il vettore dei carichi nodali equivalenti al termine della i -esima iterazione (relativo allo stato tensionale ottenuto via legame costitutivo dallo stato deformativo);
- $\|\Sigma F\|$ = norma del vettore dei carichi nodali equivalenti relativo al livello finale di carico del passo in esame.

In output sono disponibili, per ogni passo:

- spostamenti in tutti i nodi del sistema,
- stato tensionale in tutti i punti di integrazione (12 per triangolo),
- sollecitazioni di momento flettente, sforzo normale e taglio negli elementi beam e sforzo normale negli elementi truss, negli elementi geotessili e nelle molle elastoplastiche.

Varie routine grafiche permettono di visualizzare velocemente gli spostamenti e lo stato tensionale in ciascuna fase.

Il programma permette di risolvere i seguenti problemi:

- filtrazione, e sue conseguenze sul campo delle deformazioni e delle tensioni,
- carichi applicati, analisi delle deformazioni e delle tensioni, valutazione del carico limite,
- analisi della stabilità dei pendii,

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>21 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	21 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	21 di 104								

- interazione terreno-struttura,
- effetto della presenza di geotessili,
- analisi della consolidazione.

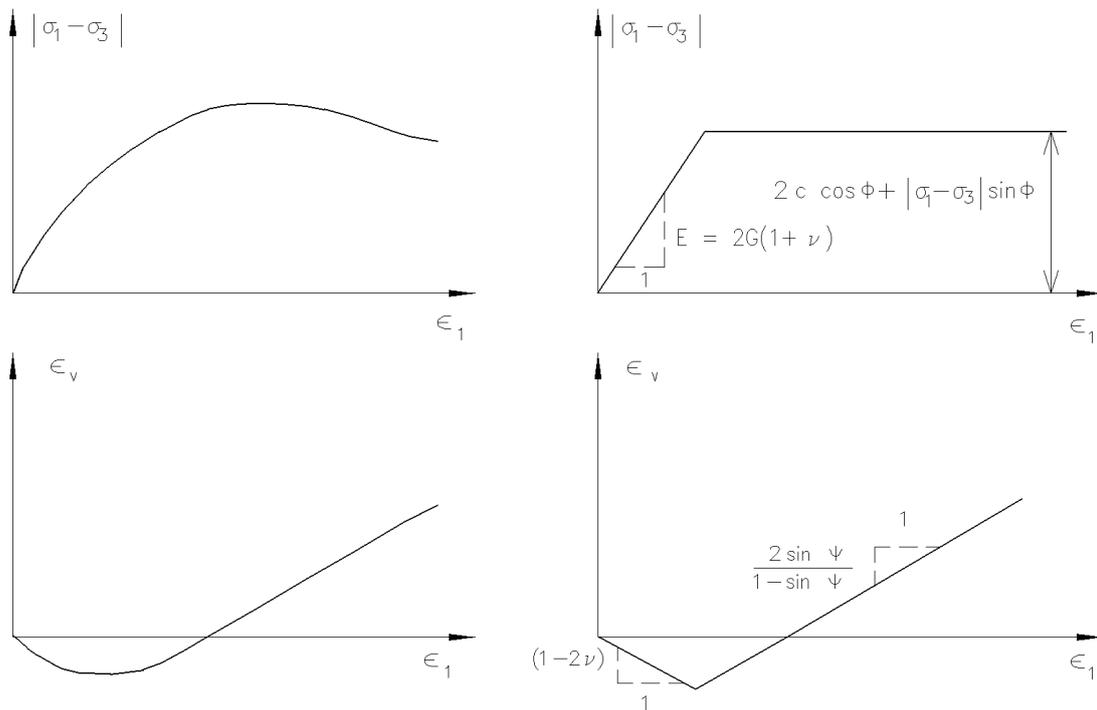


Figura 7.1 Relazione fra la prova triassiale standard (drenata) e modello elastoplastico. σ_1 è la tensione assiale, σ_3 tensione radiale costante di confinamento, σ_v deformazione volumetrica, ϵ_1 è la deformazione assiale

7.1.3 Analisi dei carichi

Spinta delle terre

La spinta delle terre viene determinata con la seguente espressione:

$$p'_a(z) = [\sigma'_v(z) + q] \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a}$$

$\sigma'_v(z)$ = tensione verticale efficace alla generica quota z;

K_a = coefficiente di spinta attiva;

q = eventuale sovraccarico uniformemente distribuito.

Per il calcolo di K_a si utilizza la formula di Mononobe ed Okabe.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>22 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	22 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	22 di 104								

La spinta passiva viene valutata, ipotizzando la eventuale presenza della coesione, come:

$$p_p = \sigma'_v K_p + 2\sqrt{K_p} c'$$

Il coefficiente di spinta passiva K_p è stato valutato utilizzando le tabelle di Caquot e Kerisel, che fanno riferimento a superfici di rottura non piane.

La spinta delle terre, sia quella dovuta al peso proprio che ai sovraccarichi accidentali, viene valutata automaticamente dal codice di calcolo impiegato con riferimento alla stratigrafia ed ai valori di progetto dei parametri geotecnici, peso di volume, angolo di attrito, coesione, attrito opera di sostegno-terreno, e dei sovraccarichi accidentali ottenuti abbattendo/amplificando i valori caratteristici mediante i coefficienti riduttivi o amplificativi specifici del tipo di verifica condotta.

Spinta dell'acqua

La spinta dell'acqua viene implementata automaticamente dal software di calcolo.

Sovraccarico

Al fine di simulare la presenza del carico dovuto a mezzi di cantiere, è stato applicato un carico pari a 20 kPa (SLE).

Al fine di simulare la presenza del carico dovuto al passaggio del treno, è stato applicato un carico pari a 50 kPa (SLE).

Azione sismica

L'azione sismica non è stata considerata poiché trattasi di opere provvisionali.

7.1.4 Parametri geotecnici

Il terreno viene simulato con il modello costitutivo di tipo "Hardening soil", utilizzando i parametri del sottosuolo riportati al relativo capitolo geotecnico.

I volumi di calcestruzzo, invece, sono stati simulati con il modello costitutivo di tipo "Linear Elastic".

Si definisce di seguito come è avvenuta la modellazione del terreno consolidato. Si considera che il terreno in adiacenza al futuro sottopasso stradale viene consolidato attraverso micropalo in vetroresina di dimensioni 200 mm e armati con barre di dimensione 60/10mm. Al fine di valutare la coesione del terreno e il modulo elastico di questo, si considera la formula proposta riportata in letteratura, nel libro "Gallerie", di M.Tanzini, in cui si tratta la coesione migliorata a seguito di un intervento di chiodatura di una parete di scavo in galleria, condizione che rappresenta anche la situazione in analisi. La formula a cui si fa riferimento per calcolare la coesione migliorata è la seguente:

$$c^* = c + [(1 + \sin\Phi) / (2\cos\Phi)] \Delta\sigma_3, \text{ in cui}$$

c^* = coesione migliorata

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>23 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	23 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	23 di 104								

Φ =angolo di attrito del terreno

$\Delta\sigma_3 = nT_{max}/S$, in cui

N= numero di chiodi

S=sezione del fronte di scavo

$T_{max} = T_{\text{sfilamento barra}}/F$

F=fattore di sicurezza. A

Attraverso un foglio di calcolo interno si valuta la coesione in seguito al consolidamento del terreno.

CONSOLIDAMENTO BARRE AL FRONTE (VTR)					
Tsfil	forza di sfilamento del rinforzo	=	301.5929	kN	
F	coeff.sicurezza da applicare a Tsfil	=	1.5		
Tmax	forza di sfilamento del rinforzo ridotta	=	201.0619	kN	
S	sezione del fronte di scavo	=	48	m ²	
ϕ'	angolo di attrito del continuo equivalente	=	35	(°)	
c'	coesione del continuo equivalente	=	0	kPa	
n	numero barre	=	15		
fy	rottura barre/1,5/1,15	=	434782.6	kPa	
diam.	diametro barra	=	6	cm	
s	spessore barra (se tubo pieno $s=0,5 \cdot \text{diam.}$)	=	1	cm	
Diam.	diametro perforazione	=	20	cm	
tau	tensione di rottura barra malta	=	466	kPa	
TAU	tensione di rottura malta/terreno	=	120	kPa	
Ab	area singola barra VTR	=	15.70796	cm ²	
AB	area foro cementato	=	314.1593	cm ²	
L	lunghezza barra fine campo	=	4	m	
F1	Forza snervamento barra	=	682.9549	kN	
F2	Forza di adesione barra/malta a rottura	=	351.3557	kN	
F3	Forza di adesione malta/terreno	=	301.5929	kN	
$\Delta\sigma_3$	incremento meccanico barre cementate	=	62.83185	kPa	
c*	coesione incrementata	=	60.34943	kPa	

Il valore della coesione migliorata è pari a circa 60 kPa. Si adotta, a vantaggio di sicurezza, un valore di coesione pari a 50 kPa.

Il modulo elastico del terreno consolidato si definisce come modulo equivalente in cui si considerano le barre di ancoraggio inserite sulla sezione di pertinenza della singola barra.

Il valore risulta essere:

$$E_{equiv} = (E_{\text{terreno}} A_{\text{terreno}} + E_{VTR} A_{VTR}) / (A_{\text{terreno}} + A_{VTR})$$

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>24 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	24 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	24 di 104								

Dove $E_{\text{terreno}} = 27'000 \text{ kPa}$

$A_{\text{terreno}} = 48 \text{ m}^2$

$E_{VTR} = 46'000'000 \text{ kPa}$

$A_{VTR} = 0.0015 \text{ m}^2$

Il valore del modulo elastico equivalente risulta essere pari a:

$E_{\text{equiv}} = (27'000 \times 48 + 46'000'000 \times 0.0015) / (48 + 0.0015) = 50'000 \text{ kPa}$.

7.1.5 Elementi strutturali

Gli elementi quali micropali sono stati inseriti come elementi beam, gli elementi chiodi sono stati inseriti come elementi anchor. Di seguito si riportano le caratteristiche assegnate ai vari elementi.

Micropali diametro $d=280 \text{ mm}$, interasse $i=0.4$, armati con tubolare $168.3/12 \text{ mm}$

$(EA) = 2.7 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$

$(EJ) = 10540 \text{ kNm}^2/\text{m}$

$W = 3.07 \text{ kN/m/m}$

Micropali diametro $d=280 \text{ mm}$, interasse $i=0.5$, armati con tubolare $168.3/12 \text{ mm}$

$(EA) = 2.16 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$

$(EJ) = 8432 \text{ kNm}^2/\text{m}$

$W = 2.45 \text{ kN/m/m}$

Chiodo Sirive R51 o equivalenti

$EA = 84000 \text{ kN/m}$

$(EJ) = 10.08 \text{ kNm}^2/\text{m}$

$W = 0.0335 \text{ kN/m/m}$

La rigidezza ipotizzata della molla di calcolo va verificata in fase preliminare ai lavori, con prove di carico su tiranti realizzati come da progetto, secondo le indicazioni della DL, sentito il progettista e con il coinvolgimento del collaudatore.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>25 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	25 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	25 di 104								

7.2 Slide

7.2.1 Premessa

Per lo studio della stabilità globale delle opere di sostegno, è stato utilizzato il codice di calcolo Slide, che ha permesso di ricavare per le sezioni studiate, il coefficiente di sicurezza FS nella combinazione di carico A2+M2+R2;

Nella Combinazione 2 si opera una demagnificazione dei parametri di resistenza dei terreni, in accordo con i coefficienti M2 delle NTC2018, mentre il carico accidentale applicato al modello verrà opportunamente amplificato in accordo con i coefficienti relativi alle diverse combinazioni. Il coefficiente minimo di sicurezza richiesto dovrà essere superiore a $\gamma R1 = 1.1$.

7.2.2 Codice di calcolo Slide

La valutazione dei fattori di sicurezza è stata condotta mediante il programma di calcolo "SLIDE", redatto a cura di Rocscience Inc., Indiana, 1986. Il programma rappresenta un pre e post processore del codice STABL (R.A. Siegel, 1975) e STABL4 (C.W. Lovell, S.S. Sharma, J.R. Carpenter, 1984) sviluppati nella School of Civil Engineering, Purdue Univ., West Lafayette, Indiana, 1986, ed è largamente utilizzato sia nella ricerca che in campo progettuale.

In particolare, viene utilizzato il metodo dei conci per la ricerca del coefficiente di sicurezza alla stabilità globale F. Tale coefficiente è un indice della stabilità del pendio in oggetto ed è definito come il rapporto tra la somma delle forze (o dei momenti) risultanti che tendono a opporsi al movimento della massa, e la somma delle forze risultanti destabilizzanti che tendono a provocarlo, cioè:

$$F = \text{Forze Agenti} / \text{Forze resistenti}$$

Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo, espressa in termini del criterio di rottura Mohr-Coulomb.

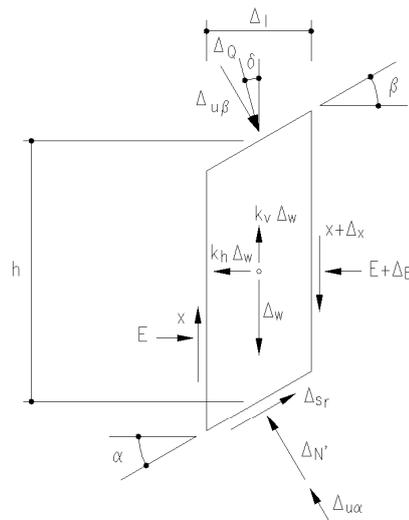
Per procedere con il calcolo di F la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in conci. Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato nella figura seguente.

Le forze sono W=Peso del concio, S=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio, P=Forza peso normale alla base del concio, U=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base, T=Forza verticale laterale al concio, E=Forza orizzontale laterale al concio.

Le forze T ed E di interazione tra i conci adiacenti rimangono solitamente incognite. Nelle procedure di calcolo più rigorose esse non vengono trascurate, tuttavia vengono fatte alcune assunzioni per permettere ugualmente la risoluzione della equazione che definisce F. Le varie procedure di calcolo nell'ambito del metodo dell'equilibrio limite si diversificano proprio per il tipo di assunti per eliminare alcune incognite nella equazione che permette il calcolo di F. Tale equazione deve essere risolta sempre in modo iterativo, essendo espressa in forma implicita con

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosolen consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>26 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	26 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	26 di 104								

l'incognita (F) in entrambi i membri, assumendo un valore di tentativo iniziale per F nel membro di destra e ripetendo i calcoli fino a convergenza quando la differenza tra i due F diventa minore di un certo valore assunto.



dove:

h = altezza media del concio

Δ_l = larghezza del concio

α ; β = inclinazione delle superfici inferiore e superiore rispetto all'orizzontale

Δ_Q = risultante dei carichi distribuiti sulla superficie, inclinati di un angolo qualsiasi δ rispetto alla verticale

$\Delta_{u\alpha}$; $\Delta_{u\beta}$ = risultante della pressione neutra sulle facce inferiore e superiore

Δ_w = peso totale del concio

x = azione di taglio verticale tra i conci

Δ_x = incremento dell'azione tagliante verticale

E = forza orizzontale agente sulla superficie verticale del concio

Δ_E = incremento della forza orizzontale

$k_h + k_v$ = coefficienti moltiplicatori del peso Δ_w per tener conto di eventuali sollecitazioni sismiche orizzontali e verticali

s_r = risultante delle azioni tangenziali agenti alla base del concio

N' = sforzo normale agente alla base

Figura 7.2. Forze agenti sul singolo concio.

Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di F. L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli dell'equilibrio limite. I procedimenti di calcolo avvengono in

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>27 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	27 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	27 di 104								

modo iterativo, come già visto in precedenza, facendo uso di espressioni del tipo della (2). I vari metodi, BISHOP (1955), MORGESTERN & PRICE (1965), SPENCER (1967), JANBU (1954), JANBU (1973) sono tutti riconducibili al " General equilibrium method" di FREDLUND et al. (1981), abbreviato con GLE. Questi metodi si diversificano in base alle assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero delle incognite nel problema, tuttavia come mostrato in numerosi studi comparativi DUNCAN & WRIGHT (1980), FREDLUND et al. (1981), la differenza percentuale tra i valori di F calcolati generalmente non supera il 10%, il che è perfettamente compatibile con il grado di incertezza insito in tale tipo di analisi.

Valori di F minori od uguali ad 1 sono indicativi di condizioni di instabilità, mentre per valori maggiori di 1 le condizioni sono a favore della stabilità. Questo è il concetto di base di tutti i modelli per la verifica di stabilità che si rifanno al concetto dell'equilibrio limite.

F deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale. E' perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze agenti e resistenti su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili, F viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio.

In tal modo il fattore di sicurezza F del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con F più basso. Tale superficie è detta anche superficie critica. Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio. Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile.

In questo lavoro i coefficienti di sicurezza si determinano con i seguenti metodi di calcolo:

- Bishop semplificato;
- Janbu corrected;
- Morgenstern e Price;
- Spencer.

7.2.3 Principali parametri di input

7.2.3.1 Parametri geotecnici

Tutti i terreni sono stati simulati con modello costitutivo del tipo Mohr-Coulomb di tipo drenato con parametri c' e Φ' così come definiti nel capitolo geotecnico.

7.2.3.2 Elementi strutturali

I chiodi sono stati inseriti come elementi "soil-nailing" a cui è stata data la resistenza a trazione del chiodo, in questo caso pari a 320KN (trattasi di chiodi autoperforanti Sirive R51 o equivalenti).

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosen</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>28 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	28 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	28 di 104								

7.3 Group

7.3.1 Premessa

Il programma utilizzato per l'analisi dei pali è Group (della Ensoft Inc), un software di calcolo specifico per la modellazione di plinti su fondazioni profonde. Esso permette la modellazione bidimensionale o tridimensionale agli elementi finiti dei soli elementi di fondazione profonda (pali); la presenza del plinto è considerata solo per quanto riguarda la sua influenza sulle sollecitazioni, sulle condizioni al contorno del problema e sull'interazione con il terreno adiacente allo stesso, ma non come elemento strutturale facente parte del problema.

I pali vengono modellati come elementi beam a comportamento elastico lineare mentre l'effetto del terreno sul palo come elemento molla a comportamento elasto-plastico.

Per una maggiore illustrazione delle capacità del software oltre che ad un database di validazione si rimanda al sito internet del produttore del software: <http://www.ensoftinc.com/>.

I pali sono stati considerati come una sezione omogeneizzata ideale acciaio-calcestruzzo; per quanto riguarda le caratteristiche del terreno di fondazione si è fatto riferimento alla stratigrafia riportata nel relativo paragrafo.

Il vantaggio nell'utilizzo di questo software di calcolo è la possibilità di tenere conto di fattori che manualmente non si considerano, quali l'interazione tra la rigidità flessionale e verticale del palo e il comportamento elasto-plastico del terreno. Il software infatti considera che una piccola aliquota del momento agente venga distribuito sui pali di fondazione come momento e il restante diventi una maggiorazione dello sforzo assiale di compressione o di trazione sul singolo palo (in funzione all'asse di rotazione del del momento stesso).

7.4 L-Pile

7.4.1 Premessa

Il programma utilizzato per l'analisi del singolo palo caricato da sforzi taglianti e flettenti è L-Pile (della Ensoft Inc), un software di calcolo specifico per la modellazione dei singoli pali. La valutazione degli spostamenti laterali e delle rotazioni del palo singolo caricato da una forza orizzontale (H) e da un momento flettente (M) viene effettuata con il metodo delle differenze finite, ricorrendo ad un modello di interazione tra palo e terreno del tipo alla Winkler. Il palo è suddiviso in conci (vedi Figura 7.3) ognuno sottoposto al regime di sforzi schematizzato in Figura 7.4.

Lo schema differisce da quello proposto in Figura 7.4 per il solo concio terminale, alla cui estremità inferiore è applicata anche la reazione di base del terreno.

Per una maggiore illustrazione delle capacità del software oltre che ad un database di validazione si rimanda al sito internet del produttore del software: <http://www.ensoftinc.com/>.

I pali sono stati considerati come una sezione omogeneizzata ideale acciaio-calcestruzzo; per quanto riguarda le caratteristiche del terreno di fondazione si è fatto riferimento alla stratigrafia riportata nel relativo paragrafo.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosdon</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>29 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	29 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	29 di 104								

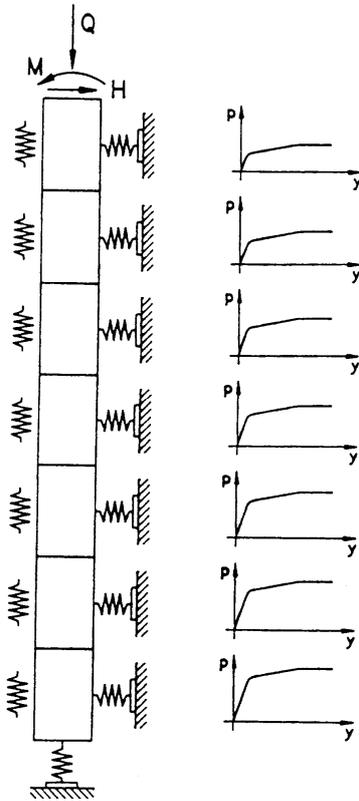


Figura 7.3: Schema dell'interazione fra palo e terreno.

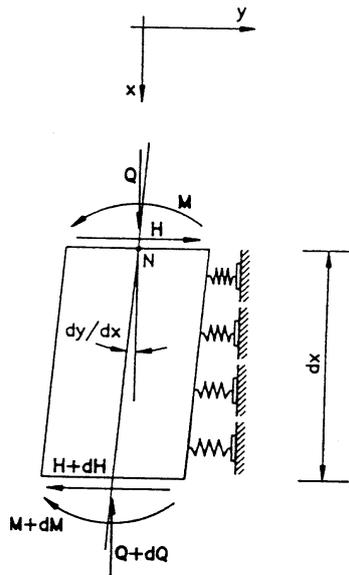


Figura 7.4: Sollecitazioni agenti nell'elemento generico di palo.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierksen consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>30 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	30 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	30 di 104								

8 PARATIA TIPO 01-04

8.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti e di sollecitazioni. Si eseguono inoltre le verifiche strutturali e geotecniche delle opere descritte.

8.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per la sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Annullamento cedimenti
3. Realizzazione micropali
4. Raggiungimento fondo scavo

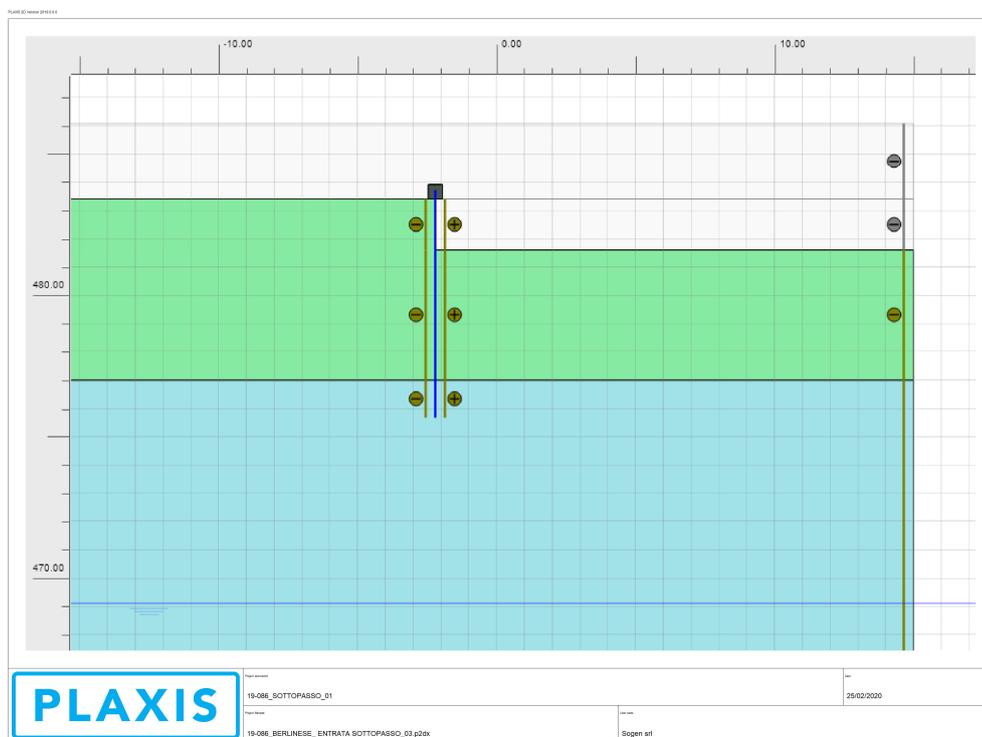


Figura 8.1. Modello geotecnico sezione “paratia 01-04”

L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 2.60 metri. Nel modello di calcolo si è rappresentata la sezione corrispondente al micropalo centrale della paratia tipo 01-04, a cui corrisponde una

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Diarodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>31 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	31 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	31 di 104								

altezza di scavo pari a circa 1.6 metri, definita da intradosso cordolo del micropalo a quota fondo scavo di progetto. Come previsto da normativa vigente (capitolo 6.5.2.2 delle NTC2018), si è considerata una maggiorazione dell'altezza di scavo pari al 10% dell'altezza di terreno da sostenere (in questo specifico caso pari a 0.2m). L'altezza di scavo per la sezione analizzata risulta quindi essere pari a $1.6+0.2=1.8$ metri.

In questa sezione non viene modellata la ferrovia poiché il carico ferroviario viene assorbito completamente dal ponte provvisorio omologato RFI previsto (ponte Gui.Do).

8.3 Risultati

Si riportano di seguito i risultati in termini di spostamenti e di sollecitazioni.

8.3.1 Analisi degli spostamenti della paratia

Lo spostamento massimo che si ha a fondo scavo è pari a circa 3 mm.

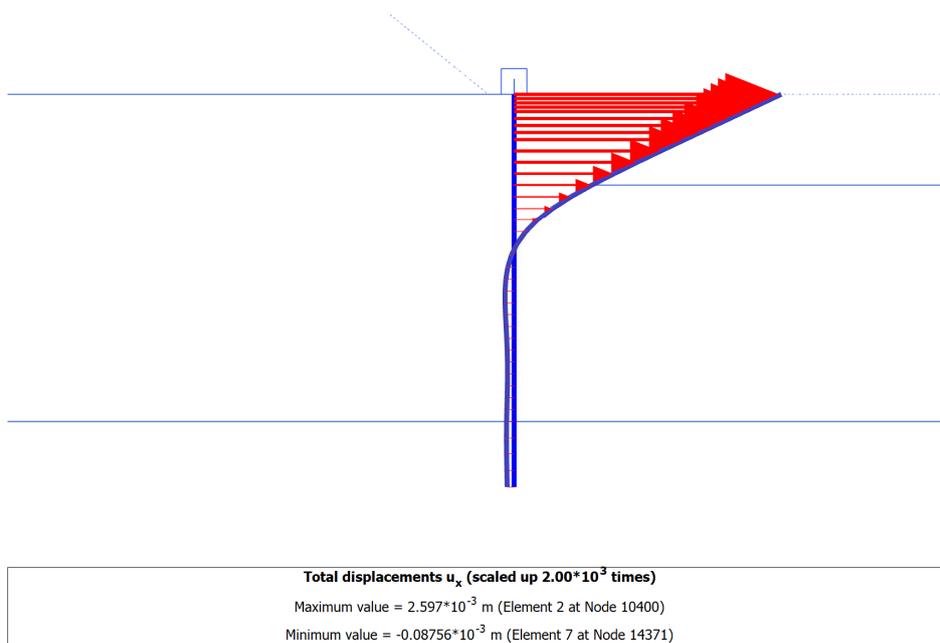


Figura 8.2. Spostamento massimo orizzontale

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosdon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>32 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	32 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	32 di 104								

8.3.2 Analisi delle sollecitazioni

Il massimo momento che si ha sulla paratia in esame risulta essere pari a 6.8 kNm/m

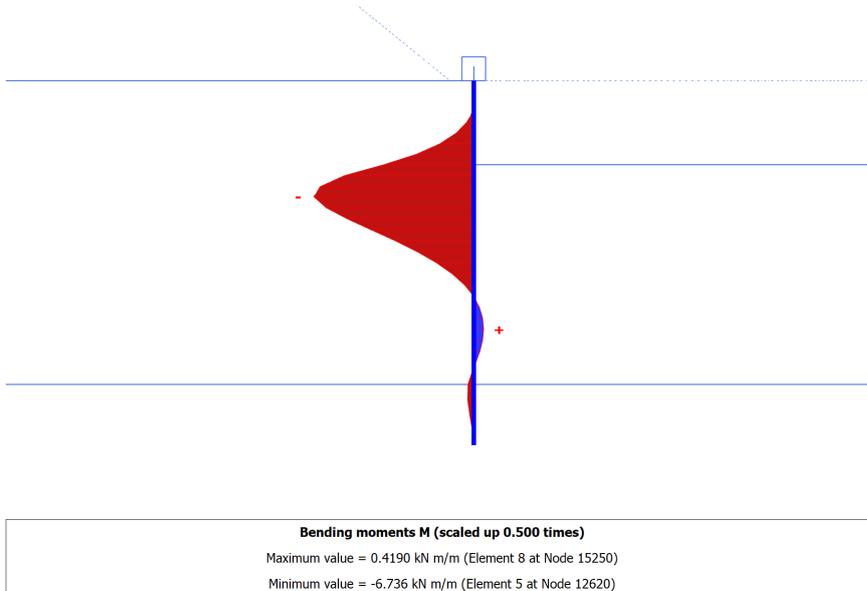


Figura 8.3. Andamento del momento

Il massimo taglio che si ha sulla paratia è pari a 7.9 kN/m.

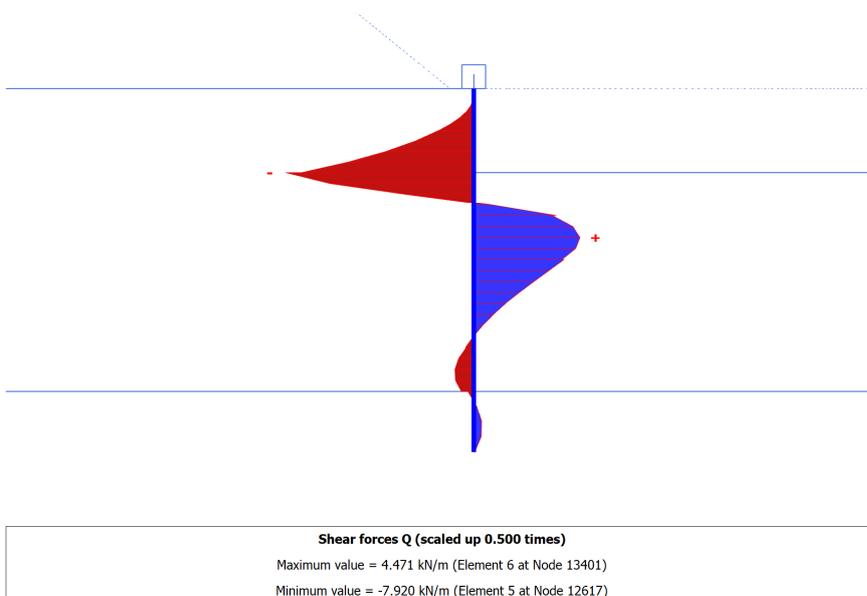


Figura 8.4. Andamento del taglio

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosan consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>33 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	33 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	33 di 104								

8.3.3 C phi reduction

La modellazione effettuata in precedenza, funzionale alla definizione degli spostamenti dell'opera, avviene allo SLE, con legge di comportamento elastoplastico inelastico del terreno.

Di seguito in accordo con le indicazioni normative (cfr. par. 6.5.3.1.2 NTC2018) si procede alle verifiche di stabilità del complesso opera di sostegno-terreno, facendo riferimento alle sezioni precedentemente calcolate. Tale verifica, va effettuata secondo la combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali in $\gamma\phi'$ e $\gamma c'$ di seguito riportati in tabella, che definiscono un valore di F.S. per le successive analisi pari a 1,25.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coazione 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

Operativamente, facendo riferimento ai meccanismi di rottura del terreno, per la fase finale di scavo, sarà quindi effettuata analisi caratterizzate dalla progressiva riduzione dei parametri di resistenza del terreno c' e ϕ fino al raggiungimento del collasso, e definendo per esso il margine di sicurezza offerto dal complesso opera di sostegno-terreno.

In accordo con quanto definito nelle normative vigenti, i sovraccarichi accidentali e/o permanenti sono coefficientati opportunamente come definito da normativa vigente (NTC2018), considerando i coefficienti del gruppo A2, riportati nella tabella sottostante.

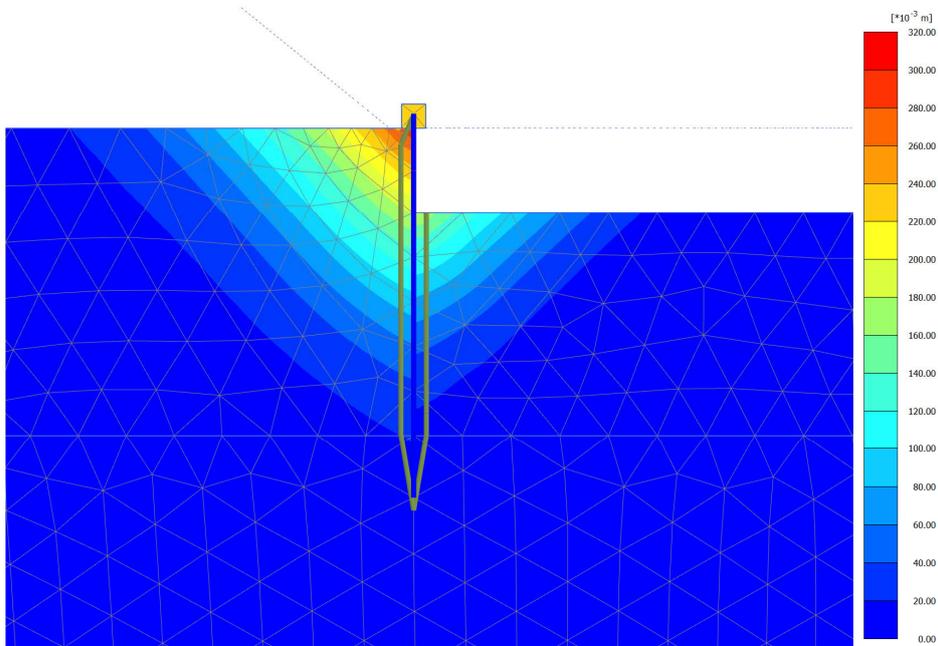
	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽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_{G1} .

Figura 8.5. Coefficienti parziali sulle azioni

A seguire si riportano i risultati delle analisi con riduzione dei parametri c' e ϕ' svolte per le fasi più critiche, evidenziando i rispettivi valori di F.S. determinati.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOLLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>34 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	34 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	34 di 104								



2D Calculation information

Step info				
Phase	C PHI REDUCTION [Phase_9]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	1.000			
Relative stiffness	1.061E-3			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	0.01348	ΣM_{sf}	4.367
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.9105
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0.000 kN/m ²			

Figura 8.6. c Φ reduction

Il valore di F_s per il caso analizzato risulta essere pari a $4.36 > 1.25$. La verifica è soddisfatta.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>35 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	35 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	35 di 104								

8.4 Verifiche micropali

Le sollecitazioni massime sul micropalo che si ottengono a fondo scavo, definite allo SLE, sono:

$$M_{sle} = 6.8 \text{ kNm/m}$$

$$T_{sle} = 7.9 \text{ kN/m}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per ricavare le sollecitazioni allo SLU, in accordo con quanto riportato nella premessa al codice di calcolo. Noto l'interasse tra i micropali, si moltiplicano le sollecitazioni per l'interasse dei micropali al fine di definire le sollecitazioni sul singolo micropalo

Le sollecitazioni massime che si ottengono allo SLU sono:

$$M_{sle} = 6.8 \times 1.3 \times 0.4 = 3.55 \text{ kNm}$$

$$T_{sle} = 7.9 \times 1.3 \times 0.4 = 4.10 \text{ kN}$$

Assumendo un tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355, la verifica è soddisfatta (si esegue la verifica con un foglio di calcolo interno).

IMPRESE

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvano Diarodon
consorzio
triveneto
rocciatori

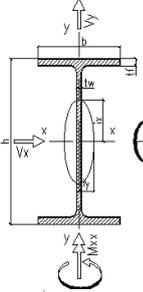
**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 36 di 104

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3					
Geometrics Dimensions			Statics Characteristic		
Shape	Ø 168.3x12		A=	58.9	cm2
			Weight=	46.2	kg/m
			Avx =	37.5	cm2
			Avy =	37.5	cm2
			Jxx =	1810.4	cm4
			Jyy =	1810.4	cm4
			Wxx =	215.1	cm3
			Wyy =	215.1	cm3
			Wpl,xx =	293.7	cm3
			Wpl,yy =	293.7	cm3
			Sx =	146.9	cm3
			Sy =	146.9	cm3
			ix =	5.54	cm
			iy =	5.54	cm
			ψx =	1.37	
			ψy =	1.37	
Material Property and Partial Factor			 $\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \quad \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$ $\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \quad \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$ $\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \quad \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$		
Steel grade	S355J0				
E =	2060000 daN/cm2				
fyk =	3550 daN/cm2				
γM0 =	1.05				
			γM1 =	1.05	
Axial Force			Nsd = 0 daN		
Internal Force Acting in xx direction			Internal Force Acting in YY direction		
Shape of bending moment	Linear		Shape of bending moment	Linear	
Msd,xx,A =	0 daNm		Msd,yy,A =	355 daNm	
Msd,xx,B =	0 daNm		Msd,yy,B =	0 daNm	
Msd,xx =	0 daNm		Msd,yy =	355 daNm	
Vsd,x =	0 daN		Vsd,y =	410 daN	
Axial Force Resistance			c		
Npl,rd = A fy/γM0 =	199117.3 daN		Nsd/Nrd =		0.000 < 1
Shear Plastic Resistance					
Vpl,rd,x =	73 223 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρx =	0.000	Vsd,x / Vpl,rd,x = 0.000 < 1
Vpl,rd,y =	73 223 daN	Vsd,y < 0.5 Vpl,rd,y	ρy =	0.000	Vsd,y / Vpl,rd,y = 0.006 < 1
Bending Moment Resistance					
Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	9930.9 daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =		0.000	< 1
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	9930.9 daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =		0.036	< 1
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance					
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =			0 + 0 + 0.036		0.036 < 1

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>37 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	37 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	37 di 104								

9 PARATIA TIPO 02-03

9.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti e di sollecitazioni. Si eseguono inoltre le verifiche strutturali e geotecniche delle opere descritte.

9.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per ogni sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Annullamento cedimenti
3. Consolidamento del terreno
4. Realizzazione micropali
5. Raggiungimento fondo scavo

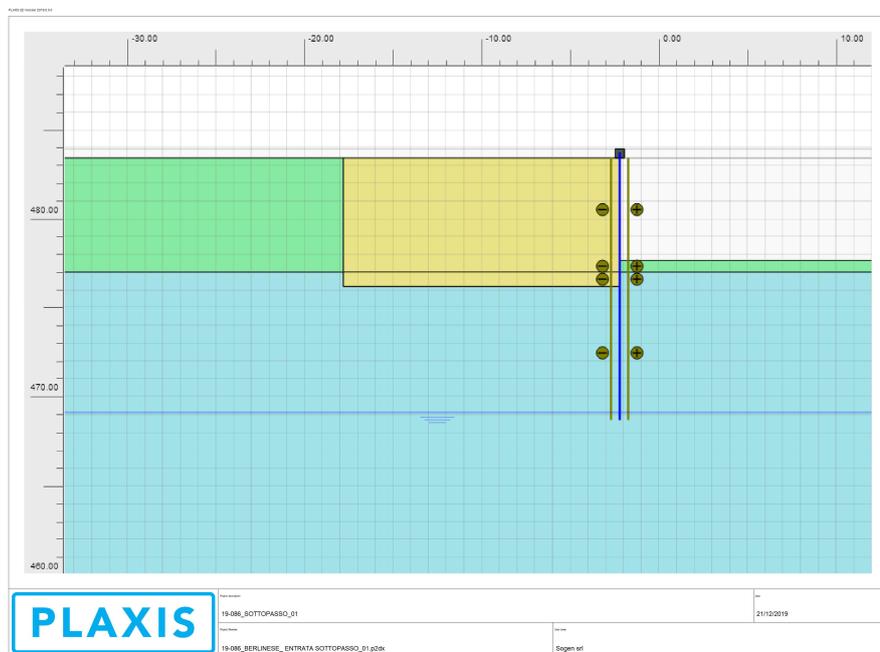


Figura 9.1. Modello geotecnico sezione “Paratia 02-03”

L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 6.40 metri. Nel modello di calcolo si è rappresentata la sezione corrispondente al micropalo centrale della paratia tipo 02-03, a cui corrisponde una

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>38 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	38 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	38 di 104								

altezza di scavo pari a circa 5.80 metri, definita da intradosso cordolo del micropalo a quota fondo scavo di progetto. Come previsto da normativa vigente (capitolo 6.5.2.2 delle NTC2018), si è considerata una maggiorazione dell'altezza di scavo pari al minore dei valori calcolati tra 10% dell'altezza di terreno e 0,5 m (in questo specifico caso pari a 0.5 m). L'altezza di scavo per la sezione analizzata risulta quindi essere pari a $5.3+0.5=5.8$ metri.

In questa sezione non viene modellata la ferrovia poiché il carico ferroviario viene assorbito completamente dal ponte provvisorio omologato RFI previsto (ponte Gui.Do). Si considera tuttavia che a monte della paratia in esame è presente il terreno consolidato. Si è quindi modellata la porzione di terreno consolidato utilizzando gli stessi parametri geotecnici definiti nel paragrafo relativo alla modellazione Plaxis (paragrafo 7).

9.3 Risultati

9.3.1 Analisi degli spostamenti della paratia

Lo spostamento massimo che si ha sulla paratia di micropali è pari a circa 3 mm.

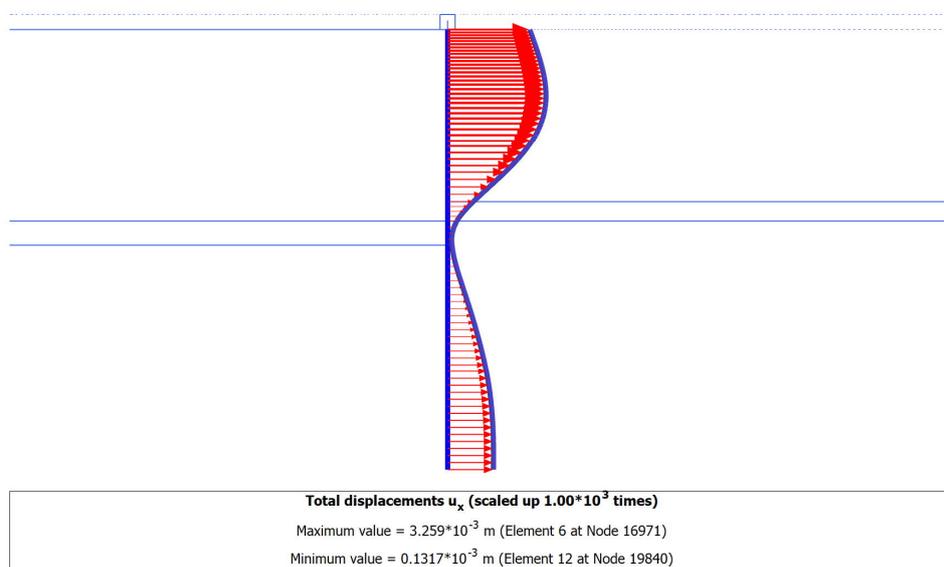


Figura 9.2. Spostamento orizzontale massimo

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>39 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	39 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	39 di 104								

9.3.2 Analisi delle sollecitazioni

Il massimo momento che si ha sulla paratia di micropali è pari a 9.7 kNm/m

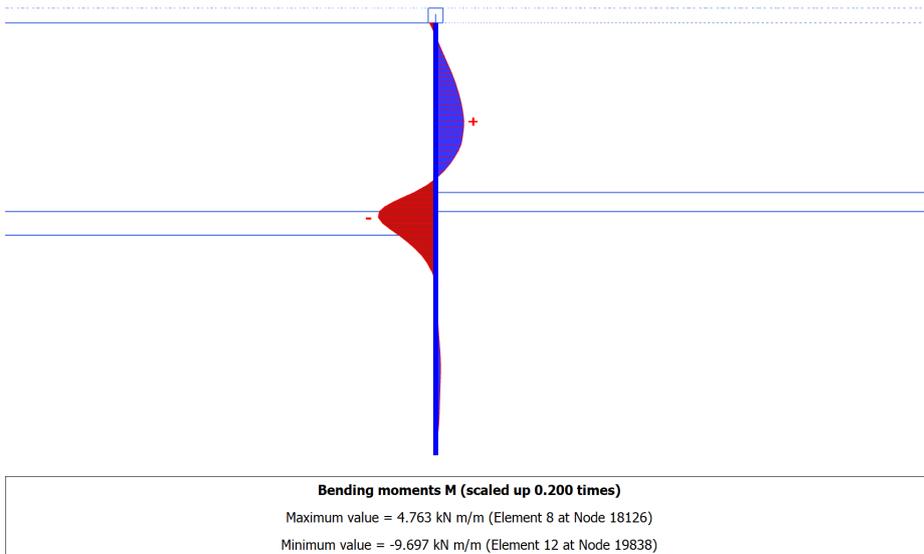


Figura 9.3. Andamento del momento

Il massimo taglio che si ha sulla paratia di micropali è pari a 11.25 kNm/m

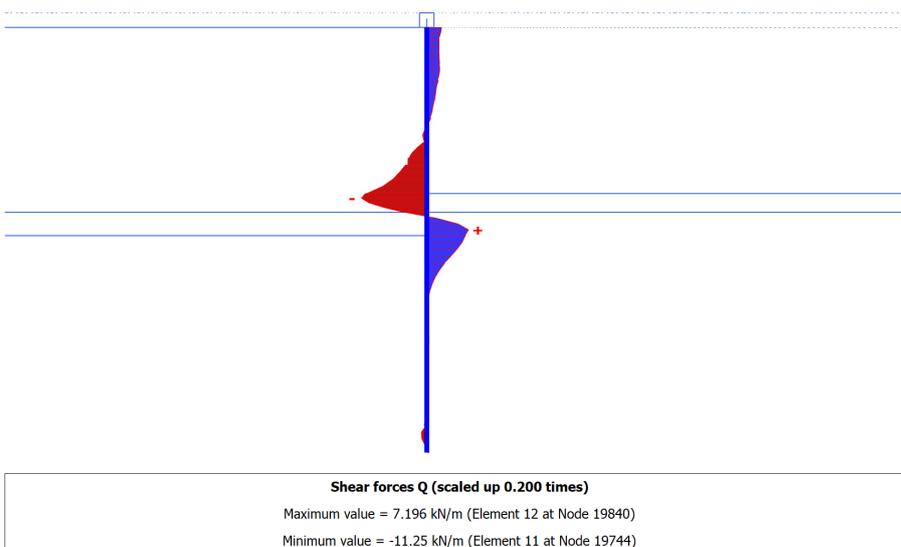
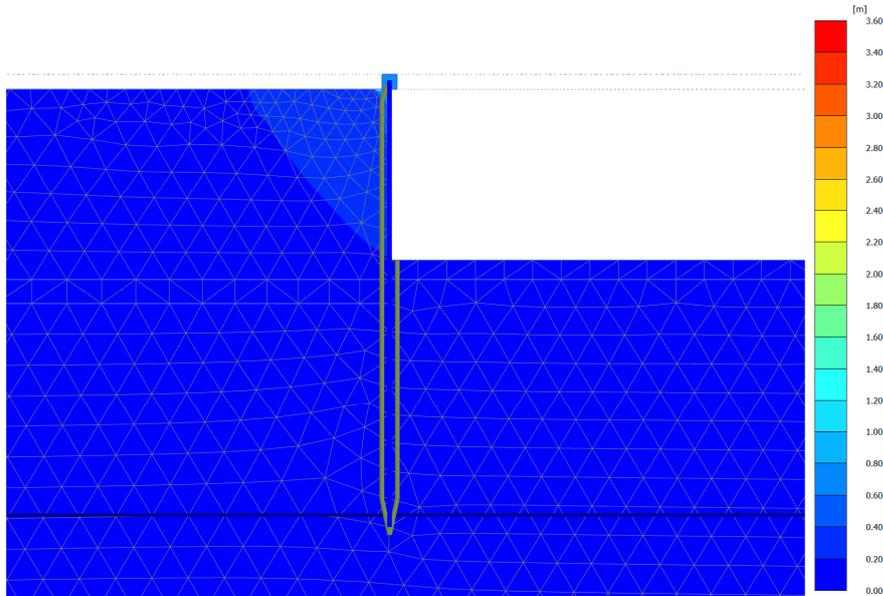


Figura 9.4. Andamento del taglio

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>40 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	40 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	40 di 104								

9.3.3 *C phi reduction*

Si rimanda al paragrafo 8.3.3 maggiori informazioni relativi alla verifica di stabilità attraverso la $c \Phi$ reduction.



2D Calculation information				
Step info				
Phase	C PHI REDUCTION [Phase_9]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	0.5000			
Relative stiffness	0.1417E-3			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	5.423E-3	ΣM_{sf}	1.761
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.9323
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0.000 kN/m ²			

Figura 9.5. $c \Phi$ reduction

Il valore di F_s per il caso analizzato risulta essere pari a $1.76 > 1.25$. La verifica è soddisfatta

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dirosan</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>41 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	41 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	41 di 104								

9.4 Verifiche micropali

Le sollecitazioni massime sul micropalo che si ottengono a fondo scavo, definite allo SLE, sono:

$$Msle = 9.7 \text{ kNm/m}$$

$$Tsle = 11.25 \text{ kN/m}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per ricavare le sollecitazioni allo SLU, in accordo con quanto riportato nella premessa al codice di calcolo. Noto l'interasse tra i micropali, si moltiplicano le sollecitazioni per l'interasse dei micropali al fine di definire le sollecitazioni sul singolo micropalo

Le sollecitazioni massime che si ottengono allo SLU sono:

$$Msle = 9.7 \times 1.3 \times 0.5 = 6.31 \text{ kNm}$$

$$Tsle = 11.25 \times 1.3 \times 0.5 = 7.31 \text{ kN}$$

Assumendo un tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355, la verifica è soddisfatta (si esegue la verifica con un foglio di calcolo interno).

IMPRESA

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvano Diarodon
consorzio
triveneto
rocciatori

**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 42 di 104

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3							
Geometrics Dimensions		Statics Characteristic					
Shape	Ø 168.3x12	A=	58.9	cm2	Weight=	46.2	kg/m
		Avx =	37.5	cm2	Avy=	37.5	cm2
		Jxx =	1810.4	cm4	Jyy =	1810.4	cm4
		Wxx =	215.1	cm3	Wyy =	215.1	cm3
		Wpl,xx =	293.7	cm3	Wpl,yy =	293.7	cm3
		Sx =	146.9	cm3	Sy =	146.9	cm3
		ix =	5.54	cm	iy =	5.54	cm
		ψx =	1.37		ψy =	1.37	
Material Property and Partial Factor		$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$ $\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$ $\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$					
Steel grade	S355J0						
E =	2060000 daN/cm2						
fyk=	3550 daN/cm2						
γM0=	1.05						
	γM1= 1.05						
Axial Force		Nsd= 0 daN					
Internal Force Acting in xx direction			Internal Force Acting in YY direction				
Shape of bending moment	Linear	Shape of bending moment	Linear				
Msd,xx,A=	0 daNm	Msd,yy,A=	631 daNm				
Msd,xx,B=	0 daNm	Msd,yy,B=	0 daNm				
Msd,xx =	0 daNm	Msd,yy =	631 daNm				
Vsd,x=	0 daN	Vsd,y=	731 daN				
Axial Force Resistance		c					
Npl,rd = A fy/γM0 =	199117.3	daN	Nsd/Nrd =		0.000 < 1		
Shear Plastic Resistance							
Vpl,rd,x=	73 223	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρ x=	0.000		
Vpl,rd,y=	73 223	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,y	ρ y=	0.000		
		Vsd,x / Vpl,rd,x =		0.000 < 1			
		Vsd,y / Vpl,rd,y =		0.010 < 1			
Bending Moment Resistance							
Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	9930.9	daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =		0.000 < 1		
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	9930.9	daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =		0.064 < 1		
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance							
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =		0 + 0 + 0.064		0.064 < 1			

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dirosen</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>43 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	43 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	43 di 104								

10 PARATIA TIPO 05-06-A

10.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti e di sollecitazioni. Si eseguono inoltre le verifiche strutturali e geotecniche delle opere descritte.

10.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per ogni sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Prescavo
3. Realizzazione micropali
4. Applicazione puntello
5. Fondo scavo
6. Carico applicato
7. Realizzazione platea+pareti+rinterro
8. Rimozione puntello
9. Carico applicato

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosan consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>44 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	44 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	44 di 104								

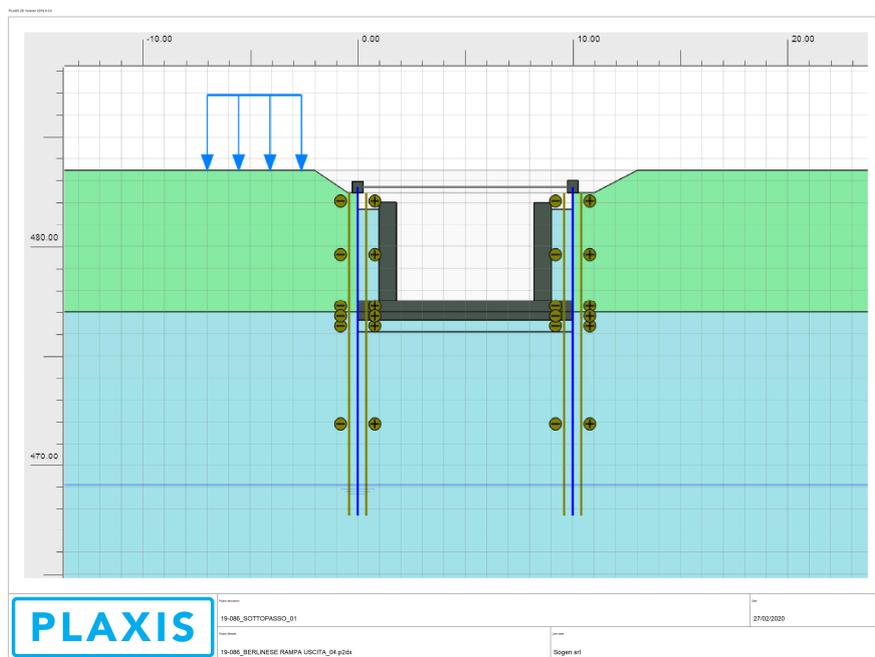


Figura 10.1. Modello geotecnico sezione “Paratia 05-06A”

L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 5.70 metri, definita da intradosso cordolo del micropalo a quota fondo scavo di progetto. Come previsto da normativa vigente (capitolo 6.5.2.2 delle NTC2018), si è considerata una maggiorazione dell'altezza di scavo pari al minore dei valori calcolati tra 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo e 0,5 m (in questo specifico caso pari a 0.5 m). L'altezza di scavo per la sezione analizzata risulta quindi essere pari a $5.7+0.5=6.2$ metri.

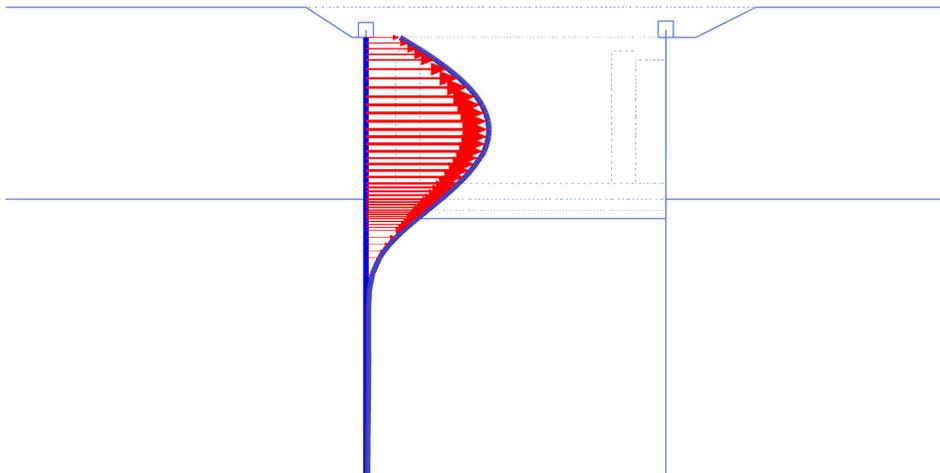
In questa sezione non viene modellata la ferrovia poiché il carico ferroviario viene assorbito completamente dal ponte provvisorio omologato RFI previsto (ponte Gui.Do). Sono stati applicati i carichi variabili dovuti a mezzi di cantiere a monte della paratia.

10.3 Risultati

10.3.1 Analisi degli spostamenti della paratia

Lo spostamento massimo che si ha sulla paratia di micropali nella condizione più gravosa (fondo scavo+carico applicato) è pari a circa 4 cm.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>45 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	45 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	45 di 104								

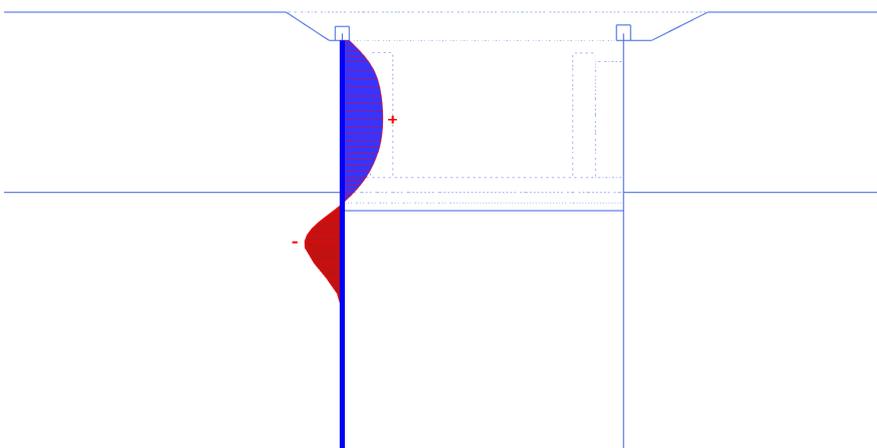


Total displacements u_x (scaled up 100 times)
Maximum value = 0.04101 m (Element 7 at Node 9398)
Minimum value = $0.5532 \cdot 10^{-3}$ m (Element 22 at Node 13854)

Figura 10.2. Spostamento massimo della pratia

10.3.2 Analisi delle sollecitazioni

Il massimo momento che si ha sulla paratia di micropali è pari a circa 72.27 kNm/m.



Bending moments M (scaled up 0.0200 times)
Maximum value = 72.27 kN m/m (Element 6 at Node 9397)
Minimum value = -66.80 kN m/m (Element 20 at Node 12351)

Figura 10.3. Andamento del momento

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>46 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	46 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	46 di 104								

Il massimo taglio che si ha sulla paratia di micropali è pari a circa 65.99 kN/m.

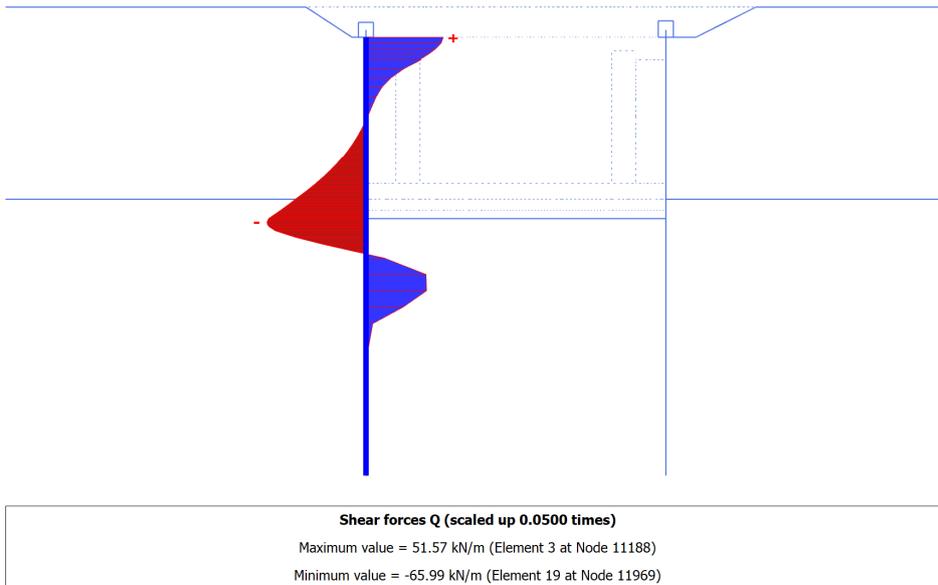


Figura 10.4. Andamento del taglio

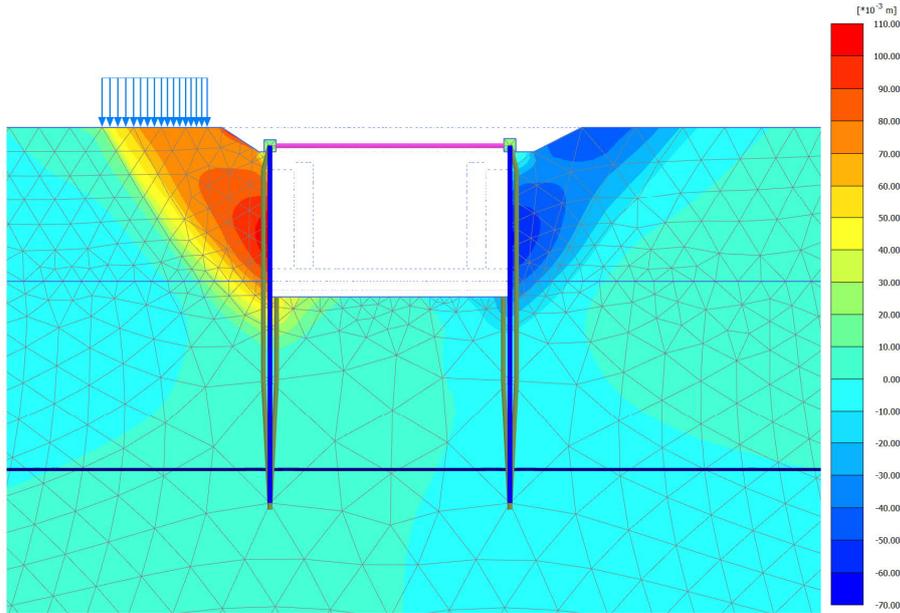
Il massimo sforzo assiale agente sul puntello in testa risulta essere pari a:

Structural element	Node	Local number	X [m]	Y [m]	N [kN]	N _{min} [kN]	N _{max} [kN]
NodeToNodeAnchor_2_1	13106	1	0.250	482.700	-256.982	-256.982	50.000
Element 1-1 (Node-to-node anchor)	17939	2	9.750	482.700	-256.982	-256.982	50.000

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>47 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	47 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	47 di 104								

10.3.3 C phi reduction

Si rimanda al paragrafo 8.3.3 per maggiori informazioni relativi alla verifica di stabilità attraverso la c Φ reduction.



Calculation information

Step info			
Phase	C PHI REDUCTION [Phase_7]		
Step	Initial		
Calculation mode	Classical mode		
Step type	Safety		
Updated mesh	False		
Solver type	Picos		
Kernel type	64 bit		
Extrapolation factor	1.000		
Relative stiffness	0.02648E-3		
Multipliers			
Soil weight			ΣM_{Weight} 1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	-0.5546E-3	ΣM_{sf} 1.282
Time	Increment	0.000	End time 0.000
Staged construction			
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area} 0.9632
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage} 0.000
Forces			
F_x	0.000 kN/m		
F_y	0.000 kN/m		
Consolidation			
Realised $P_{Excess,Max}$	0.000 kN/m ²		

Figura 10.5. c Φ reduction

Il valore di F_s per il caso analizzato risulta essere pari a $1.28 > 1.25$. La verifica è soddisfatta

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>48 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	48 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	48 di 104								

10.4 Verifiche micropali

Le sollecitazioni massime sul micropalo che si ottengono a fondo scavo, nella fase precedente all'applicazione del carico, definite allo SLE, sono:

$$Msle = 64.38 \text{ kNm/m}$$

$$Tsle = 60.09 \text{ kN/m}$$

Le sollecitazioni massime che si ottengono a fondo scavo, nella fase di applicazione del carico, definite allo SLE, sono:

$$Msle = 72.27 \text{ kNm/m}$$

$$Tsle = 65.99 \text{ kN/m}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e il coefficiente 1.5 per le sollecitazioni variabili per ricavare le sollecitazioni allo SLU, come riportato nel capitolo relativo al codice di calcolo. Noto l'interasse tra i micropali, si moltiplicano le sollecitazioni per l'interasse dei micropali al fine di definire le sollecitazioni sul singolo micropalo

$$Mslu = (1.3 \times 64.38 + 1.5 \times (72.27 - 64.38)) \times 0.4 = 38.21 \text{ kNm}$$

$$Tslu = (1.3 \times 60.09 + 1.5 \times (65.99 - 60.09)) \times 0.4 = 34.78 \text{ kN}$$

Assumendo un tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355, la verifica è soddisfatta (si esegue la verifica con un foglio di calcolo interno).

IMPRESA

QUADRI GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvia Dirosdon
consorzio
triveneto
rocciatori

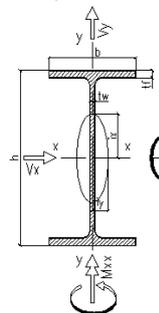
**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

**SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED
INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1
FORTEZZA-PONTE GARDENA**

**RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI
SOTTOPASSO**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 49 di 104

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3							
Geometrics Dimensions		Statics Characteristic					
Shape	Ø 168.3x12	A=	58.9	cm2	Weight=	46.2	kg/m
		Avx =	37.5	cm2	Avy=	37.5	cm2
		Jxx =	1810.4	cm4	Jyy =	1810.4	cm4
		Wxx =	215.1	cm3	Wyy =	215.1	cm3
		Wpl,xx =	293.7	cm3	Wpl,yy =	293.7	cm3
		Sx =	146.9	cm3	Sy =	146.9	cm3
		ix =	5.54	cm	iy =	5.54	cm
		ψx =	1.37		ψy =	1.37	
Material Property and Partial Factor							
Steel grade	S355J0	$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$		$\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$			
E =	2060000 daN/cm2	$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$					
fyk =	3550 daN/cm2						
γM0 =	1.05						
γM1 =	1.05						
Axial Force		Nsd =	0	daN			
Internal Force Acting in xx direction		Internal Force Acting in YY direction					
Shape of bending moment	Linear	Shape of bending moment	Linear				
Msd,xx,A =	0 daNm	Msd,yy,A =	3821 daNm				
Msd,xx,B =	0 daNm	Msd,yy,B =	0 daNm				
Msd,xx =	0 daNm	Msd,yy =	3821 daNm				
Vsd,x =	0 daN	Vsd,y =	3478 daN				
Axial Force Resistance		$N_{pl,rd} = A f_y / \gamma_{M0} = 199117.3 \text{ daN}$					
		Nsd/Nrd =		0.000	< 1		
Shear Plastic Resistance							
Vpl,rd,x =	73 223 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρx =	0.000	Vsd,x / Vpl,rd,x = 0.000 < 1		
Vpl,rd,y =	73 223 daN	Vsd,y < 0.5 Vpl,rd,y	ρy =	0.000	Vsd,y / Vpl,rd,y = 0.047 < 1		
Bending Moment Resistance							
Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	9930.9 daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =		0.000	< 1		
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	9930.9 daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =		0.385	< 1		
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance							
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =		0 + 0 + 0.385		0.385	< 1		

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>50 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	50 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	50 di 104								

10.5 Verifiche puntello

La sollecitazione massima assiale sul puntello che si ottiene a fondo scavo, nella fase precedente all'applicazione del carico, definita allo SLE, è:

$$N_{sle} = 240.03 \text{ kN}$$

La sollecitazione massima assiale sul puntello che si ottiene a fondo scavo, nella fase di applicazione del carico, definita allo SLE, è:

$$N_{sle} = 256.98 \text{ kN}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e il coefficiente 1.5 per le sollecitazioni variabili per ricavare le sollecitazioni allo SLU, come riportato nel capitolo relativo al codice di calcolo. La sollecitazione massima sul puntello allo SLU è pari a:

$$N_{max} = 1.3 \times 240.03 + 1.5 \times (256.98 - 240.03) = 337.50 \text{ kN}$$

Assumendo un tubolare di dimensioni 273/10 mm in acciaio di classe S355, di lunghezza massima pari a circa 10 metri, la verifica è soddisfatta (si esegue la verifica con un foglio di calcolo interno).

IMPRESE

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA **IB0A** LOTTO **00** CODIFICA **E ZZ CL** DOCUMENTO **NV0970001** REV. **B** FOGLIO **51 di 104**

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3			
Geometrics Dimensions		Statics Characteristic	
Shape	Ø 273x10	A=	82.6 cm ²
		Weight=	64.8 kg/m
		Avx =	52.6 cm ²
		Avy =	52.6 cm ²
		Jxx =	7155.9 cm ⁴
		Jyy =	7155.9 cm ⁴
		Wxx =	524.2 cm ³
		Wyy =	524.2 cm ³
		Wpl,xx =	692.0 cm ³
		Wpl,yy =	692.0 cm ³
		Sx =	346.0 cm ³
		Sy =	346.0 cm ³
		ix =	9.31 cm
		iy =	9.31 cm
		ψx =	1.32
		ψy =	1.32
Material Property and Partial Factor		$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \quad \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$ $\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \quad \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$ $\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \quad \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$	
Steel grade	S355J0		
E =	2060000 daN/cm ²		
fyk =	3550 daN/cm ²		
γM0 =	1.05		
γM1 =	1.05		
Axial Force	Nsd =	33 750 daN	
Internal Force Acting in xx direction		Internal Force Acting in YY direction	
Shape of bending moment	Linear	Shape of bending moment	Linear
Msd,xx,A =	0 daNm	Msd,yy,A =	1050 daNm
Msd,xx,B =	0 daNm	Msd,yy,B =	0 daNm
Msd,xx =	0 daNm	Msd,yy =	1050 daNm
Vsd,x =	0 daN	Vsd,y =	450 daN
Effective length for flexural buckling			
Buckling curve	c		
Imperfection Factor α =	0.49		
Effective length in X direction		Effective length in Y direction	
lo,x =	1000 cm	lo,y =	1000 cm
λx =	107.4	λy =	107.4
σcr,x =	1760 daN/cm ²	σcr,y =	1760 daN/cm ²
γx =	0.342	γy =	0.342
kx =	1.500	ky =	1.500
Axial Force Resistance			
Npl,rd = A fy/γM0 =	279205.8 daN	Nsd/Nrd =	0.121 < 1
Shear Plastic Resistance			
Vpl,rd,x =	102 675 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρ x = 0.000
Vpl,rd,y =	102 675 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,y	ρ y = 0.000
		Vsd,x / Vpl,rd,x =	0.000 < 1
		Vsd,y / Vpl,rd,y =	0.004 < 1
Bending Moment Resistance			
Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	23397.0 daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =	0.000 < 1
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	23397.0 daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =	0.045 < 1
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance			
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =	0.121 + 0 + 0.045		0.166 < 1
Buckling resistance			
$\chi_{min} A f_{yk} / \gamma_{M1} + \frac{k_x M_{sd,x}}{W_{pl,yy} f_{yk} / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{sd,y}}{W_{pl,xx} f_{yk} / \gamma_{M1}}$			0.421 < 1

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvano Dirosolan consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>52 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	52 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	52 di 104								

10.6 Verifiche cordolo in testa

Viene di seguito analizzato il cordolo di coronamento situato in sommità ai micropali. Il cordolo ha dimensioni 50x50 cm.

Lo schema statico a cui ci si può ricondurre per analizzare le sollecitazioni agenti sul cordolo è quello di trave a doppio appoggio, con luce massima pari a circa $L=2.50$ metri, caricata con un carico uniformemente distribuito e pari a $q= R/i$, dove R = reazione del chiodo, ottenuta da modello PLAXIS e i =interasse massimo tra due elementi di vincolo (puntelli), definita apri a 2.50 metri.

La massima sollecitazione allo SLU sul puntello risulta essere pari a $N_{max}=337.50$ kN, che, distribuito su una luce massima tra puntello e puntello di circa 2.50 m, genera un carico q pari a:

$$q=337.50/2.5= 135 \text{ kN/m.}$$

Il momento e il taglio massimo che si hanno, a seguito di un carico distribuito q su una trave su doppio appoggio è:

$$M_{ed}= 1/8 \times q \times L^2= 1/8 \times 135 \times 2.5^2 = 105.5 \text{ kNm}$$

$$T_{ed}= q \times L / 2 = 135 \times 2.5 / 2 = 168.7 \text{ kN}$$

Si prevede di armare il cordolo con 4+4Φ16. Il momento resistente è pari a 137.6 kNm ed è maggiore del momento agente $M_{ed}=105.5$ kNm

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	8.04	4
			2	8.04	46

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

Materiali: B450C C25/30

ε_{su} 67.5% ε_{c2} 2%
f_{yd} 391.3 N/mm² ε_{cu} 3.5%
E_s 200 000 N/mm² f_{cd} 14.17
E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0.8
ε_{syd} 1.957% σ_{c,adm} 9.75
σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0.6
τ_{c1} 1.829

M_{xRd} 137.6 kNm
σ_c -14.17 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5%
ε_s 32.59%
d 46 cm
x 4.461 x/d 0.09698
δ 0.7

Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello
Precompresso

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p><i>Impresa Silvia Dierodon</i></p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>53 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	53 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	53 di 104								

Si assume di adottare una armatura resistente a taglio composta da $\Phi 12/20$ cm. Il taglio resistente risulta essere maggiore di quello agente ($Trd=275 \text{ kN} > Ted= 168.7 \text{ kN}$). La verifica è soddisfatta.

VERIFICA A TAGLIO DI SEZIONI IN C.A					
GEOMETRIA SEZIONE					
base b_w	500	[mm]	d utile	460	[mm]
altezza	500	[mm]	area	250000	[mm ²]
copriferro	40	[mm]			
MATERIALI					
			calcestruzzo		
			R_{ck}	30	[N/mm ²]
acciaio	B450C		f_{ck}	25	[N/mm ²]
f_{yk}	450	[N/mm ²]	γ_c	1.5	
γ_s	1.15		alfa cc	0.85	
f_{yd}	391	[N/mm ²]	f_{cd}	14.2	[N/mm ²]
			f'_{cd}	7.1	[N/mm ²]
SOLLECITAZIONE					
	Vsd		168.7	[kN]	
<i>elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</i> [punto 4.1.2.1.3.1]					
<i>(per solai piastre e membrature --> si calcola la resistenza a trazione del cls)</i>					
k	1.66				
V_{min}	0.374				
Asl	804	[mm ²]	area armatura longitudinale tesa		
ρ_1	0.003	<	0.020		
σ_{cp}	0.000	<	2.833	[MPa]	
N_{Sd}	0	[kN]	sforzo di compressione		
V_{Rd}	94.34	[kN]	$V_{Rd,min}$	86.04	[kN]
V_{Rd}	94.34	[kN]			
$V_{Rd} < V_{sd}$ necessario mettere armatura trasversale a taglio					
<i>elementi con armature trasversali resistenti a taglio</i> [punto 4.1.2.1.3.2]					
ARMATURE					
alfa c	1.00				
diam.staffe	12	[mm]	Inclinazione variabile		
s	200	[mm]	passo staffe	ω_{sw}	0.0625
n° braccia	2			$\cot\theta^*$	2.6463
Asw	226	[mm ²]	armatura trasversale		
alfa	90	[°]	inclinazione staffe-asse trave		
cot (alfa)	0.00				
sen (alfa)	1.00				
θ	45.0	[°]	inclinazione puntoni cls tra 21.8° e 45°		
cot (θ)	1.50		compreso tra 1,0 e 2,5		
resistenza offerta dall'armatura a taglio				275	[kN]
TAGLIO RESISTENTE					
<i>resistenza di calcolo a taglio trazione</i> formula 4.1.18					
V_{Rds}	275	[kN]			
<i>resistenza di calcolo a taglio compressione</i> formula 4.1.19					
V_{Rcd}	677	[kN]			
<i>resistenza a taglio (min V_{Rsd} ; V_{Rcd})</i> formula 4.1.20					
V_{Rd}	275	[kN]			

10.6.1.1 Verifiche dello stato tensionale

Secondo quanto riportato nel "Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II- sezione 3 – Corpo stradale" definito da RFI, la verifica tensionale deve rispettare le seguenti limitazioni:

Tensioni nel calcestruzzo: $\sigma_c \leq 0,55 \times f_{ck} = 13.75 \text{ MPa}$ (comb. Rara)

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>54 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	54 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	54 di 104								

$$\sigma_c \leq 0,40 \times f_{ck} = 10 \text{ MPa} \quad (\text{comb. Quasi Permanente})$$

Tensioni nell'acciaio: $\sigma_s \leq 0,75 \times f_{yk} = 337,5 \text{ MPa} \quad (\text{comb. Rara})$

Le verifiche in termini tensionali vengono realizzate considerando le sollecitazioni definite allo SLE, ottenute dalle sollecitazioni allo SLU divise per un coefficiente $Y=1.4$ che rappresenta il valor medio dei coefficienti amplificativi da applicare alle sollecitazioni agenti secondo le NTC2018 (comb. A1+M1). Si ricavano quindi le tensioni massime (SLE) agenti sul cordolo:

$$Med = 105.5 / 1.4 = 75.35 \text{ kNm}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	8.04	4
			2	8.04	46

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord. [cm] xN 0 yN 0

Metodo di calcolo
 S.L.U. + S.L.U. - Metodo n

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -4.906 N/mm²
 σ_s 222.4 N/mm²

Verifica N° iterazioni: 4

Precompresso

δ 0.7508

La verifica in termini tensionali è soddisfatta in quanto:

$$\sigma_c = \text{tensione sul cls} = 4.09 \text{ MPa} < 10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = \text{tensione sull'acciaio} = 222.4 \text{ MPa} < 337.5 \text{ MPa}$$

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierodon</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>55 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	55 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	55 di 104								

11 PARATIA TIPO 05-06-B

11.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti e di sollecitazioni. Si eseguono inoltre le verifiche strutturali e geotecniche delle opere descritte.

11.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per ogni sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Annullamento cedimenti
3. Prescavo
4. Realizzazione micropali
5. Scavo 1
6. Applicazione carico
7. Centina 1
8. Scavo 2
9. Applicazione carico
10. Centina 2
11. Fondo scavo
12. Applicazione carico
13. Platea
14. Rimozione centina
15. Applicazione carico

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>56 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	56 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	56 di 104								

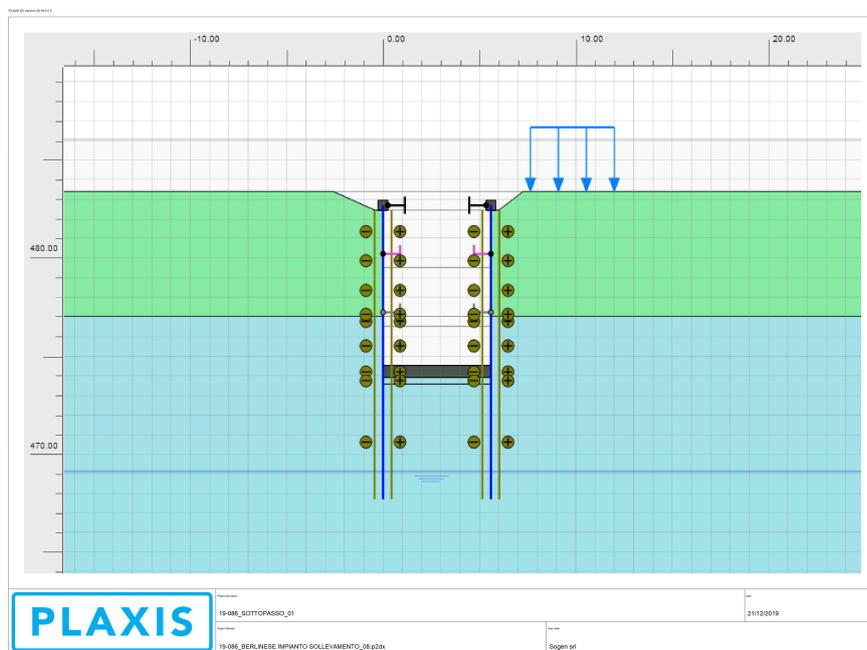


Figura 11.1 Modello geotecnico sezione “Paratia 05-06B”

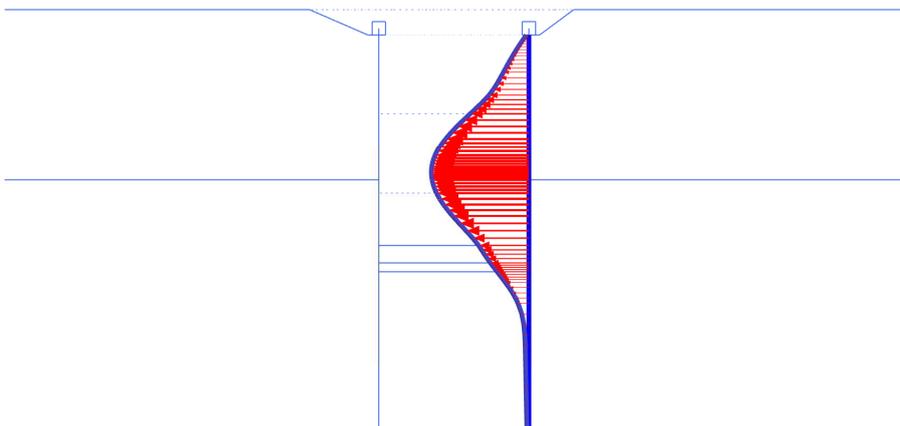
L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 8.50 metri, definita da intradosso cordolo del micropalo a quota fondo scavo di progetto. Come previsto da normativa vigente (capitolo 6.5.2.2 delle NTC2018), si è considerata una maggiorazione dell'altezza di scavo pari al minore dei seguenti calcolati tra 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo e 0,5 m (in questo specifico caso pari a 0.3 m). L'altezza di scavo per la sezione analizzata risulta quindi essere pari a $8.50+0.3=8.8$ metri.

11.3 Risultati

11.3.1 Analisi degli spostamenti della paratia

Lo spostamento massimo della paratia nella condizione più gravosa (rimozione centina e carico applicato) risulta essere pari a circa 1.8 cm.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>57 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	57 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	57 di 104								

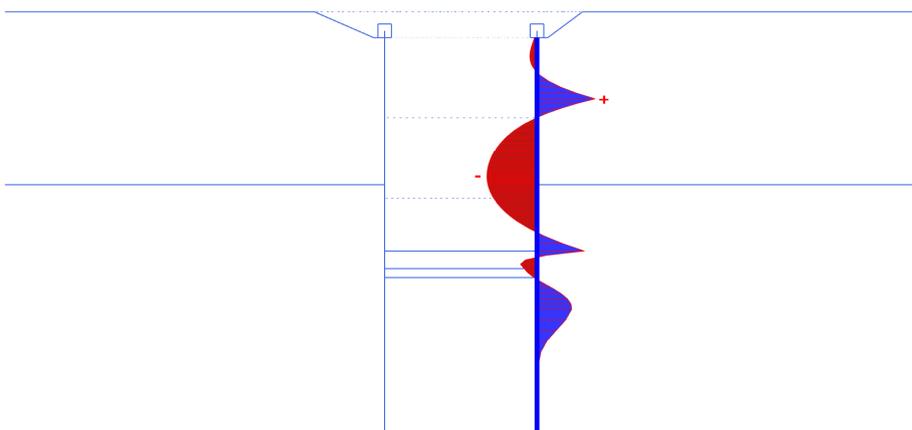


Total displacements u_x (scaled up 200 times)
Maximum value = $-0.3676 \cdot 10^{-3}$ m (Element 44 at Node 28395)
Minimum value = -0.01819 m (Element 20 at Node 18947)

Figura 11.2. Spostamento massimo della paratia

11.3.2 Analisi delle sollecitazioni

Il massimo momento agente sulla paratia risulta essere pari a 42.94 kNm/m

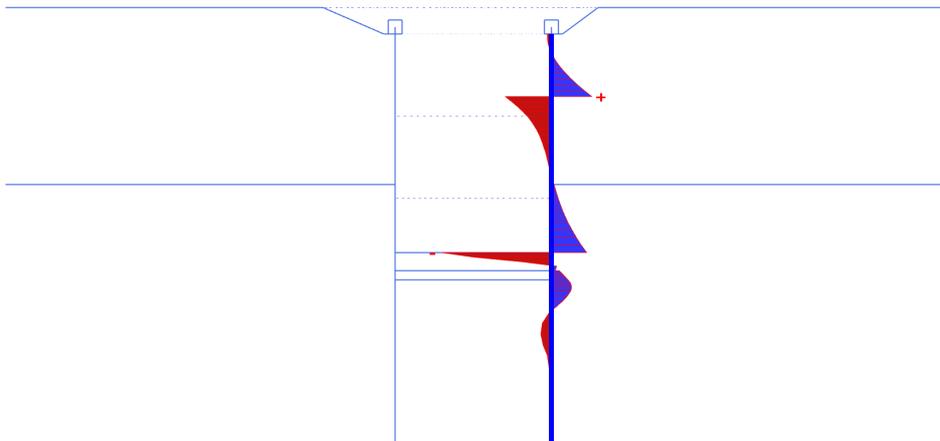


Bending moments M (scaled up 0.0500 times)
Maximum value = 42.94 kN m/m (Element 12 at Node 14300)
Minimum value = -36.81 kN m/m (Element 20 at Node 18946)

Figura 11.3. Andamento del momento

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>58 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	58 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	58 di 104								

Il massimo taglio agente sulla paratia risulta essere pari a 72.47 kN/m. Si considera che, come si evince dal diagramma del taglio riportato, si hanno dei picchi localizzati di sollecitazione tagliante dovuti a problemi del software nell'analizzare la continuità dei nodi tra materiali con proprietà differenti: tali picchi non vengono considerati nella analisi delle sollecitazioni.



Shear forces Q (scaled up 0.0200 times)
Maximum value = 72.47 kN/m (Element 10 at Node 14300)
Minimum value = -196.2 kN/m (Element 30 at Node 24191)

Figura 11.4. Andamento del taglio

Il massimo sforzo assiale agente sul cordolo in testa risulta essere pari a:

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_6_1	14342	1	5.350	482.700	-19.505	-19.505	0.000	180.000	1.000

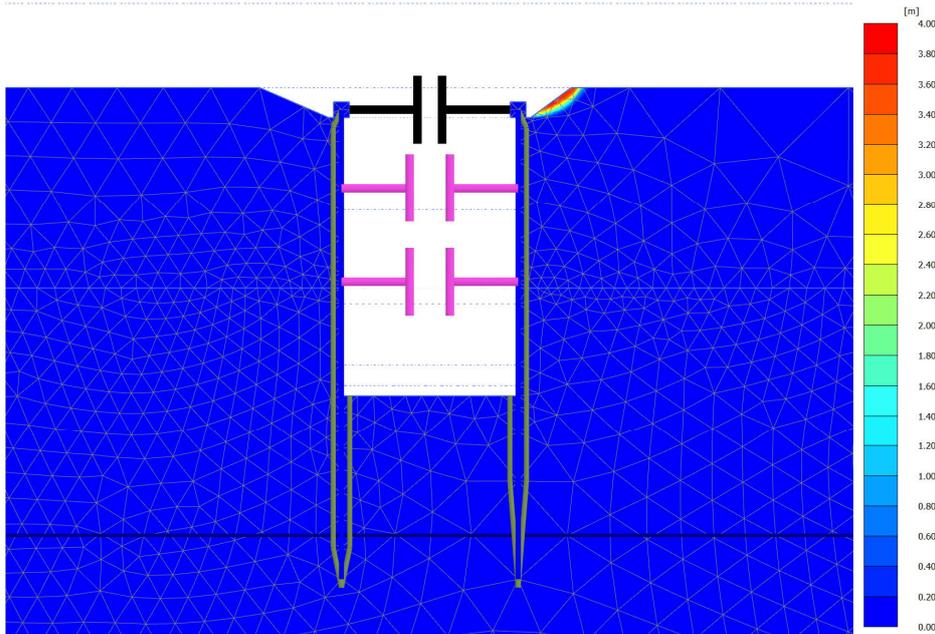
Il massimo sforzo assiale agente sulle centine è pari a:

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X ▲ [m]	Y ▲ [m]	N ▲ [kN]	N _{min} ▲ [kN]	N _{max} ▲ [kN]	Φ _z ▲ [°]	Length ▲ [m]
FixedEndAnchor_3_1	14300	1	5.600	480.200	-104.604	-104.604	0.000	180.000	1.000
FixedEndAnchor_10_1	20102	1	5.600	477.200	-134.752	-134.752	0.000	180.000	1.000

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>59 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	59 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	59 di 104								

11.3.3 C phi reduction

Si rimanda al paragrafo 8.3.3 per maggiori informazioni relativi alla verifica di stabilità attraverso la c Φ reduction.



Calculation information				
Step info				
Phase	C PHI REDUCTION [Phase_9]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	2.000			
Relative stiffness	-0.03758E-6			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	0.2222E-3	ΣM_{sf}	1.793
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.8970
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{\text{Excess,Max}}$	0.000 kN/m ²			

Figura 11.5. c Φ reduction

Il valore di F_s per il caso analizzato risulta essere pari a $1.79 > 1.25$. La verifica è soddisfatta

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>60 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	60 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	60 di 104								

11.4 Verifiche micropali

Le sollecitazioni massime sul micropalo che si ottengono a fondo scavo, nella fase precedente all'applicazione del carico, definite allo SLE, sono:

$$M_{sle} = 38.93 \text{ kNm/m}$$

$$T_{sle} = 68.77 \text{ kN/m}$$

Le sollecitazioni massime che si ottengono a fondo scavo, nella fase di applicazione del carico, definite allo SLE, sono:

$$M_{sle} = 42.94 \text{ kNm/m}$$

$$T_{sle} = 72.47 \text{ kN/m}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e il coefficiente 1.5 per le sollecitazioni variabili per ricavare le sollecitazioni allo SLU, come riportato nel capitolo relativo al codice di calcolo. Noto l'interasse tra i micropali, si moltiplicano le sollecitazioni per l'interasse dei micropali al fine di definire le sollecitazioni sul singolo micropalo

$$M_{slu} = (1.3 \times 38.93 + 1.5 \times (42.94 - 38.93)) \times 0.4 = 22.65 \text{ kNm}$$

$$T_{slu} = (1.3 \times 68.77 + 1.5 \times (72.47 - 68.77)) \times 0.4 = 37.98 \text{ kN}$$

Assumendo un tubolare di dimensioni 168.3/12 mm in acciaio di classe S355, la verifica è soddisfatta (si esegue la verifica con un foglio di calcolo interno).

IMPRESE

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvia Dirosdon
consorzio
triveneto
rocciatori

**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

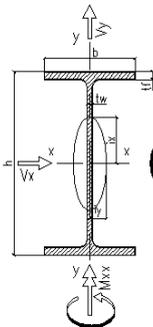
RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 61 di 104

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3

Geometrics Dimensions		Statics Characteristic					
Shape	Ø 168.3x12	A=	58.9	cm2	Weight=	46.2	kg/m
		Avx =	37.5	cm2	Avy=	37.5	cm2
		Jxx =	1810.4	cm4	Jyy =	1810.4	cm4
		Wxx =	215.1	cm3	Wyy =	215.1	cm3
		Wpl,xx =	293.7	cm3	Wpl,yy =	293.7	cm3
		Sx =	146.9	cm3	Sy =	146.9	cm3
		ix =	5.54	cm	iy =	5.54	cm
		ψx =	1.37		ψy =	1.37	

Material Property and Partial Factor	
Steel grade	S355J0
E =	2060000 daN/cm2
fyk=	3550 daN/cm2
γM0=	1.05
γM1=	1.05



$$\lambda_{x} = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \quad \lambda_{y} = \frac{l_{0,y}}{i_x}$$

$$\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{x}^2}, \quad \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_{y}^2}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \quad \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$$

Axial Force Nsd= 0 daN

Internal Force Acting in xx direction		Internal Force Acting in YY direction	
Shape of bending moment	Linear	Shape of bending moment	Linear
Msd,xx,A=	0 daNm	Msd,yy,A=	2265 daNm
Msd,xx,B=	0 daNm	Msd,yy,B=	0 daNm
Msd,xx =	0 daNm	Msd,yy =	2265 daNm
Vsd,x=	0 daN	Vsd,y=	3800 daN

Axial Force Resistance Npl,rd = A fy / γM0 = 199117.3 daN Nsd/Nrd = 0.000 < 1

Shear Plastic Resistance
 Vpl,rd,x= 73 223 daN Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x ρx= 0.000 Vsd,x / Vpl,rd,x = 0.000 < 1
 Vpl,rd,y= 73 223 daN Vsd,y < 0.5 Vpl,rd,y ρy= 0.000 Vsd,y / Vpl,rd,y = 0.052 < 1

Bending Moment Resistance
 Mcrd,xx = Wpl,x(1 - ρx) fy / γM0 9930.9 daNm Msd,xx / Mcrd,xx = 0.000 < 1
 Mcrd,yy = Wpl,y(1 - ρy) fy / γM0 9930.9 daNm Msd,yy / Mcrd,yy = 0.228 < 1

Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance
 Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy = 0 + 0 + 0.228 0.228 < 1

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>62 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	62 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	62 di 104								

11.5 Verifiche cordolo in testa

11.5.1 Verifica strutturale

La sollecitazione massima assiale sul cordolo in testa ai micropali che si ottiene nella fase precedente a quella di carico applicato, definita allo SLE, è:

$$N_{sle} = 14.03 \text{ kN}$$

La sollecitazione massima assiale sul cordolo in testa ai micropali che si ottiene con carico applicato, definita allo SLE, è

$$N_{sle} = 19.50 \text{ kN}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e 1.5 per le sollecitazioni variabili. La sollecitazione massima sul chiodo allo SLU è pari a:

$$N_{max} = 1.3 \times 14.03 + 1.50 \times (19.50 - 14.03) = 26.45 \text{ kN che agiscono sul 1 metro di lunghezza}$$

Lo schema statico a cui ci si può ricondurre per analizzare le sollecitazioni agenti sul cordolo è quello di trave a doppio incastro, con luce massima pari a circa $L = 5.80$ metro, caricata con un carico uniformemente distribuito e pari a $q = R/l$, dove R = reazione del cordolo, ottenuta da modello PLAXIS e $l = 1$ metro.

La massima sollecitazione allo SLU sul cordolo in testa risulta essere pari a $N_{max} = 26.45$ kN, che, distribuito su una luce massima di 1 m, genera un carico q pari a:

$$q = 26.45 / 1 = 26.45 \text{ kN/m.}$$

Il momento e il taglio massimo che si hanno, a seguito di un carico distribuito q su una trave su doppio appoggio è:

$$M_{ed} = 1/12 \times q \times L^2 = 1/12 \times 26.45 \times 5.8^2 = 74.15 \text{ kNm}$$

$$T_{ed} = q \times L / 2 = 26.45 \times 5.8 / 2 = 76.70 \text{ kN}$$

Si prevede di armare il cordolo con 4+4Φ16. Il momento resistente è pari a 137.6 kNm ed è maggiore del momento agente $M_{ed} = 74.15$ kNm

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>63 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	63 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	63 di 104								

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo : _____

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	8.04	4
			2	8.04	46

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0 kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Calcola MRd Dominio M-N
L₀ 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali

B450C	C25/30
E _{su} 67.5 ‰	E _{c2} 2 ‰
f _{yd} 391.3 N/mm²	E _{cu} 3.5 ‰
E _s 200 000 N/mm²	f _{cd} 14.17
E _s /E _c 15	f _{cc} /f _{cd} 0.8
E _{syd} 1.957 ‰	σ _{c,adm} 9.75
σ _{s,adm} 255 N/mm²	τ _{co} 0.6
	τ _{c1} 1.829

M_{xRd} 137.6 kNm

σ_c -14.17 N/mm²
σ_s 391.3 N/mm²
ε_c 3.5 ‰
ε_s 32.59 ‰
d 46 cm
x 4.461 x/d 0.09698
δ 0.7

Si assume di adottare una armatura resistente a taglio composta da $\Phi 12/20$ cm. Il taglio resistente risulta essere maggiore di quello agente ($Trd=275 \text{ kN} > Ted= 76.70 \text{ kN}$). La verifica è soddisfatta.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>64 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	64 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	64 di 104								

VERIFICA A TAGLIO DI SEZIONI IN C.A					
GEOMETRIA SEZIONE					
base b _w	500	[mm]	d utile	460	[mm]
altezza	500	[mm]	area	250000	[mm ²]
copriferro	40	[mm]			
MATERIALI					
			calcestruzzo		
			R _{ck}	30	[N/mm ²]
acciaio	B450C		f _{ck}	25	[N/mm ²]
f _{yk}	450	[N/mm ²]	γ _c	1.5	
γ _s	1.15		alfa cc	0.85	
f _{yd}	391	[N/mm ²]	f _{cd}	14.2	[N/mm ²]
			f _{cd}	7.1	[N/mm ²]
SOLLECITAZIONE		Vsd	76.7	[kN]	
<i>elementi senza armature trasversali resistenti a taglio</i> [punto 4.1.2.1.3.1]					
<i>(per solai piastre e membrature --> si calcola la resistenza a trazione del cls)</i>					
k	1.66				
v _{min}	0.374				
Asl	804	[mm ²]	area armatura longitudinale tesa		
ρ _l	0.003	<	0.020		
σ _{cp}	0.000	<	2.833	[MPa]	
N _{Sd}	0	[kN]	sforzo di compressione		
V _{Rd}	94.34	[kN]	V _{Rd,min} =	86.04	[kN]
V_{Rd}	94.34	[kN]			
V_{Rd} > Vsd sezione verificata senza armature trasversali a taglio					
<i>elementi con armature trasversali resistenti a taglio</i> [punto 4.1.2.1.3.2]					
ARMATURE					
alfa c	1.00				
diam.staffe	12	[mm]	Inclinazione variabile		
s	200	[mm]	passo staffe	ω _{sw}	0.0625
n° braccia	2			cotθ*	2.6463
Asw	226	[mm ²]	armatura trasversale		
alfa	90	[°]	inclinazione staffe-asse trave		
cot (alfa)	0.00				
sen (alfa)	1.00				
θ	45.0	[°]	inclinazione puntoni cls tra 21.8° e 45°		
cot (θ)	1.50		compreso tra 1,0 e 2,5		
resistenza offerta dall'armatura a taglio				275	[kN]
TAGLIO RESISTENTE					
<i>resistenza di calcolo a taglio trazione</i>				<i>formula 4.1.18</i>	
V _{Rds}	275	[kN]			
<i>resistenza di calcolo a taglio compressione</i>				<i>formula 4.1.19</i>	
V _{Rcd}	677	[kN]			
<i>resistenza a taglio (min V_{Rsd} ; V_{Rcd})</i>				<i>formula 4.1.20</i>	
V_{Rd}	275	[kN]			

11.5.2 Verifiche dello stato tensionale

Secondo quanto riportato nel “Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II- sezione 3 – Corpo stradale” definito da RFI, la verifica tensionale deve rispettare le seguenti limitazioni:

Tensioni nel calcestruzzo: $\sigma_c \leq 0,55 \times f_{ck} = 13.75 \text{ MPa}$ (comb. Rara)

$\sigma_c \leq 0,40 \times f_{ck} = 10 \text{ MPa}$ (comb. Quasi Permanente)

Tensioni nell'acciaio: $\sigma_s \leq 0,75 \times f_{yk} = 337,5 \text{ MPa}$ (comb. Rara)

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOLGIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>65 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	65 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	65 di 104								

Le verifiche in termini tensionali vengono realizzate considerando le sollecitazioni definite allo SLE, ottenute dalle sollecitazioni allo SLU divise per un coefficiente $Y=1.4$ che rappresenta il valor medio dei coefficienti amplificativi da applicare alle sollecitazioni agenti secondo le NTC2018 (comb. A1+M1). Si ricavano quindi le tensioni massime (SLE) agenti sul cordolo:

$$M_{ed} = 26.45 / 1.4 = 18.90 \text{ kNm}$$

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° strati barre: 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	50	50	1	8.04	4
			2	8.04	46

Tipo Sezione:
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo:
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Verifica N° iterazioni: 4 Precompresso

Materiali

B450C		C25/30	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

σ_c -1.231 N/mm²
 σ_s 55.78 N/mm²
 ϵ_s 0.2789 ‰
d 46 cm
x 11.44 x/d 0.2487
 δ 0.7508

La verifica in termini tensionali è soddisfatta in quanto:

$$\sigma_c = \text{tensione sul cls} = 1.23 \text{ MPa} < 10 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = \text{tensione sull'acciaio} = 55.78 \text{ MPa} < 337.5 \text{ Mpa}$$

11.6 Verifiche centine

La sollecitazione massima assiale sulle centine che si ottiene nella fase precedente a quella di carico applicato, definita allo SLE, è:

$$N_{sle} = 117.38 \text{ kN}$$

La sollecitazione massima assiale sulle centine che si ottiene con carico applicato, definita allo SLE, è

$$N_{sle} = 134.75 \text{ kN}$$

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>66 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	66 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	66 di 104								

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e 1.5 per le sollecitazioni variabili. La sollecitazione massima sul chiodo allo SLU è pari a:

$$N_{max} = 1.3 \times 117.38 + 1.50 \times (134.75 - 117.38) = 178.65 \text{ kN}$$

Lo schema statico a cui ci si può ricondurre per analizzare le sollecitazioni agenti sulle centine è quello di trave a doppio incastro, con luce massima pari a circa $L = 4.80$ metro, caricata con un carico uniformemente distribuito e pari a $q = R/l$, dove R = reazione del cordolo, ottenuta da modello PLAXIS e $l = 1$ metro.

La massima sollecitazione allo SLU sul puntello risulta essere pari a $N_{max} = 26.45$ kN, che, distribuito su una luce massima di 1 m, genera un carico q pari a:

$$q = 178.65 / 1 = 178.65 \text{ kN/m.}$$

Il momento e il taglio massimo che si ottengono, a seguito di un carico distribuito q su una trave su doppio incastro è:

$$M_{ed} = 1/12 \times q \times L^2 = 1/12 \times 178.65 \times 4.8^2 = 343 \text{ kNm}$$

$$T_{ed} = q \times L / 2 = 178.65 \times 4.8 / 2 = 428.8 \text{ kN}$$

Si esegue la verifica delle centine HEB300 con un foglio di calcolo interno. La verifica è soddisfatta.

IMPRESE

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvia Dirosdon
consorzio
triveneto
rocciatori

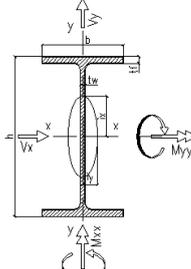
**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA **IB0A** LOTTO **00** CODIFICA **E ZZ CL** DOCUMENTO **NV0970001** REV. **B** FOGLIO **67 di 104**

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3					
Geometrics Dimensions			Statics Characteristic		
Shape	HEB 300		A=	149.0	cm ²
h =	300	mm	Weight=	117.0	kg/m
b =	300	mm	Avx =	114.0	cm ²
tw =	11	mm	Jxx =	25170.0	cm ⁴
tf =	19	mm	Wxx =	1678.0	cm ³
r =	27	mm	Wpl,xx =	1868.0	cm ³
			Sx =	934.0	cm ³
			ix =	13.00	cm
			ψx =	1.11	
			Avy =	47.4	cm ²
			Jyy =	8563.0	cm ⁴
			Wyy =	571.0	cm ³
			Wpl,yy =	870.9	cm ³
			Sy =	435.4	cm ³
			iy =	7.58	cm
			ψy =	1.53	
Material Property and Partial Factor			 $\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$ $\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$ $\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$		
Steel grade	S355J0				
E =	2060000	daN/cm ²			
fyk =	3550	daN/cm ²			
γM0 =	1.05				
γM1 =	1.05				
Axial Force			Nsd = 0 daN		
Internal Force Acting in xx direction			Internal Force Acting in YY direction		
Shape of bending moment	Linear		Shape of bending moment	Linear	
Msd,xx,A =	0	daNm	Msd,yy,A =	34300	daNm
Msd,xx,B =	0	daNm	Msd,yy,B =	0	daNm
Msd,xx =	0	daNm	Msd,yy =	34300	daNm
Vsd,x =	0	daN	Vsd,y =	42880	daN
Effective lenght for flexural buckling					
Buckling curve	c				
Imperfection Factor α =	0.49				
Axial Force Resistance					
Npl,rd = A fy/γM0 =	503761.9	daN	Nsd/Nrd =	0.000	< 1
Shear Plastic Resistance					
Vpl,rd,x =	222 527	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρ x =	0.000
Vpl,rd,y =	92 427	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,y	ρ y =	0.000
			Vsd,x / Vpl,rd,x =	0.000	< 1
			Vsd,y / Vpl,rd,y =	0.464	< 1
Bending Moment Resistance					
Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	29443.1	daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =	0.000	< 1
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	63156.2	daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =	0.543	< 1
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance					
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =			0 + 0 + 0.543		0.543 < 1

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierksen consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>68 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	68 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	68 di 104								

12 CONSOLIDAMENTO SOTTOBINARIO

12.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti. Si eseguono inoltre le verifiche geotecniche delle opere descritte.

12.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per ogni sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Applicazione carico del treno
3. Annullamento cedimenti
4. Consolidamento
5. Soletta
6. Scavo
7. Applicazione carico treno

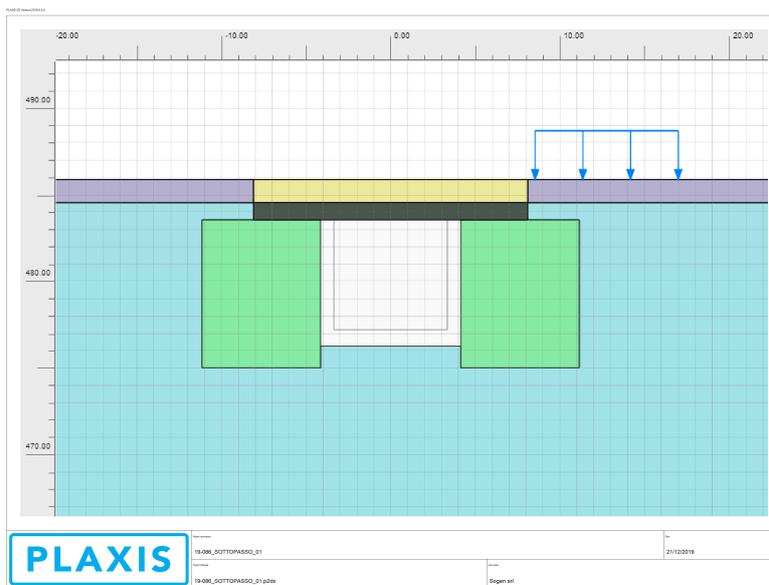


Figura 12.1. Modello geotecnico sezione “consolidamento sottobinario”

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>69 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	69 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	69 di 104								

L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 7.20 metri, definita da intradosso soletta di copertura a quota fondo scavo.

12.3 Risultati

12.3.1 Analisi degli spostamenti

Il massimo spostamento orizzontale che si ottiene è pari a 7 mm.

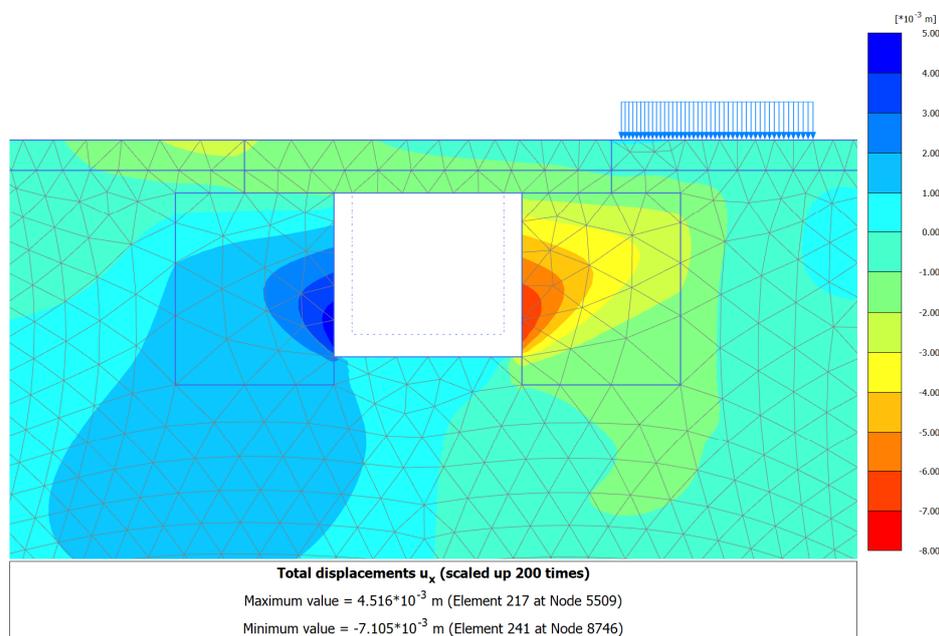


Figura 12.2. Spostamento massimo orizzontale

Il massimo spostamento verticale che si ottiene è pari a 1.3 cm e si ottiene in corrispondenza del fondo scavo per un detensionamento del terreno che tende a rigonfiare. Il massimo spostamento che si ha al di sotto della superficie di carico del treno è pari a circa 2 mm.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>70 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	70 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	70 di 104								

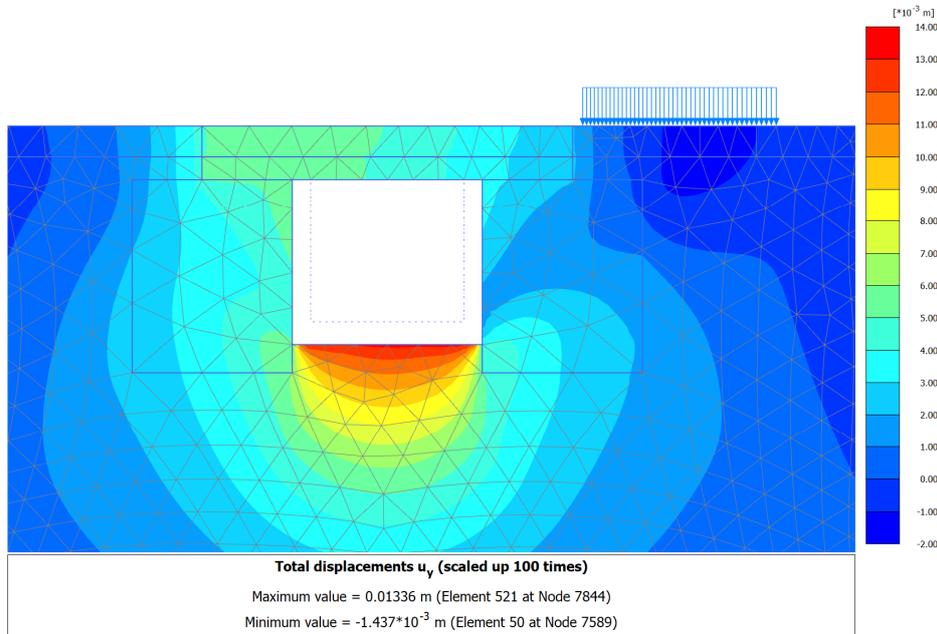


Figura 12.3. Spostamento massimo verticale

12.4 Verifiche blocco di consolidamento

Viene di seguito eseguita la verifica del blocco di consolidamento pensato come opera di sostegno. Si eseguono quindi le verifiche di scorrimento, di ribaltamento e di capacità portante del terreno consolidato come segue:

q =carico del treno= 50 kN/m

Il blocco di terreno consolidato ha dimensioni pari a circa 9.50x 5metri.

Si considerano le seguenti spinte, agenti sul blocco di terreno consolidato:

$$St = \gamma_G \times 0.5 \times \gamma_t \times k_0 \times h^2 = 1.3 \times 0.5 \times 19 \times 0.4 \times 9.50^2 = 445 \text{ kN/m}$$

$$Sq = \gamma_Q \times q \times k_0 \times h = 1.5 \times 50 \times 0.4 \times 9.50 = 285 \text{ kN/m}$$

$$Ted = St + Sq = 445 + 285 = 730 \text{ kN/m}$$

Verifica a scorrimento

La sollecitazione massima a scorrimento che si ha sul blocco di terreno consolidato, ottenuto tramite il software di calcolo Plaxis, risulta essere pari a:

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>71 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	71 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	71 di 104								

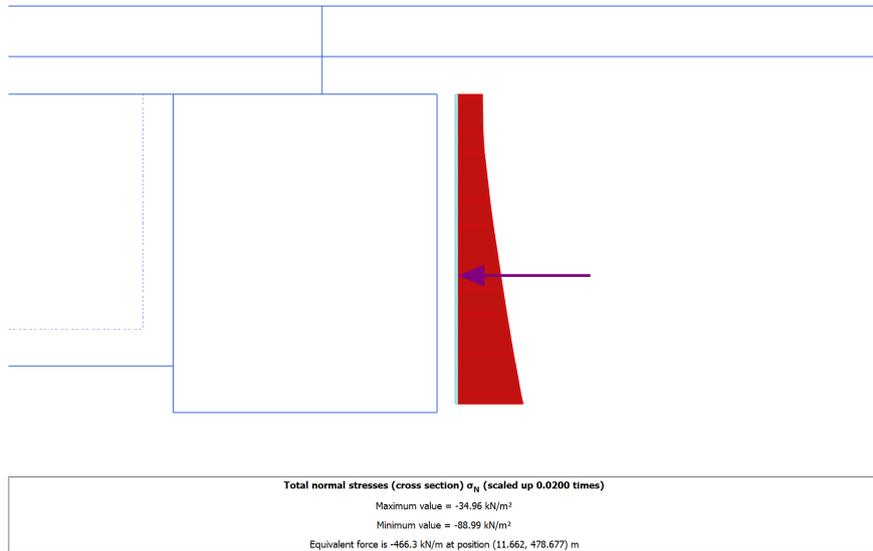


Figura 12.4. Massima azione orizzontale sul blocco di terreno consolidato

La sollecitazione allo SLU risulta essere pari a:

$$T_{ed} = (466.3 - 420.6) \times 1.5 + 1.3 \times 420.6 = 615.3 \text{ kN/m}$$

La resistenza a scorrimento del terreno consolidato risulta essere pari a:

$$R_d = W \times \tan \Phi = 1045 \times \tan 36 = 760 \text{ kN/m}$$

Con W = peso del terreno consolidato, pari a $W = 22 \times 9.50 \times 5 = 1045 \text{ kN/m}$

Φ = angolo attrito terreno = 36°

$$F_s = R_d / T_{ed} = 760 / 615.3 = 1.23$$

La verifica a scorrimento è soddisfatta in quanto: $F_s = 1.23 > \gamma_{R3} = 1.1$

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento si realizza considerando come punto di rotazione il vertice del terreno consolidato

$$M_{instab} = S_t \times h/3 + S_q \times h/2 = 445.80 \times 9.5/3 + 285 \times 9.5/2 = 2765.5 \text{ kNm/m}$$

$$M_{stab} = W \times h/2 = 997.5 \times 9.5/2 = 4738 \text{ kNm/m}$$

$$F_s = M_{stab} / M_{instab} = 4738 / 2765.5 = 1.71$$

La verifica a ribaltamento è soddisfatta in quanto $F_s = 1.71 > \gamma_{R3} = 1.15$

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierodon</i> consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>72 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	72 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	72 di 104								

Verifica a capacità portante

Per definire la verifica a capacità portante si considerano le sollecitazioni in fondazione, pari a:

$$N_{\text{tot SLU}} = W \times \gamma_{A1} = 1045 \times 1.3 = 1358.5 \text{ kN/m}$$

$$T_{\text{tot SLU}} = 730 \text{ kN/m}$$

$$M_{\text{tot SLU}} = M_{\text{instab}} - M_{\text{stab}} = 1972.5 \text{ kNm/m}$$

$$e = M/N = 1.36$$

$$B' = B - 2 \times e = 5 - 2 \times 1.36 = 2.27$$

Coefficienti di Meyerhof per la capacità portante		
relativi a $\phi =$	36	(°)
Nc	50.59	
Nq	37.75	
Ng	56.31	

<i>Coeff. correttivi forma della fondazione:</i>		
Sc	2.93	
Sq	2.90	
S γ	0.09	
<i>Coeff. correttivi inclinazione carico:</i>		
incl. carico (rad)	0.49	
dc	1.00	
dq	0.36	
d γ	0.17	
qlim =	2760.1	(kPa)

$$Q_{\text{lim}} = q_{\text{lim}} \times B' = 2760 \times 2.27 = 6265.20 \text{ kN/m}$$

$$F_s = Q_{\text{lim}} / N_{\text{tot SLU}} = 6265.20 / 1358.5 = 4.61$$

La verifica a capacità portante è soddisfatta in quanto $F_s = 4.61 > \gamma_{R3} = 1.4$

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dirosen</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>73 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	73 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	73 di 104								

13 CHIODATURA VASCA DI VARO

13.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti da software di calcolo in termini di spostamenti e di sollecitazioni. Si eseguono inoltre le verifiche strutturali e geotecniche delle opere descritte.

13.2 Modello di calcolo

Si riportano di seguito, per ogni sezione di riferimento analizzata, gli step di esecuzione del modello e la vista della sezione nella condizione finale.

1. Fase iniziale
2. Annullamento cedimenti
3. Scavo in pendenza
4. Scavo 1
5. Chiodo 1
6. Scavo 2
7. Chiodo 2
8. Scavo 3
9. Chiodo 3
10. Realizzazione blocco di spinta
11. Spinta del monolite
12. Scavo 4
13. Chiodo 4
14. Scavo 5
15. Chiodo 5
16. Fondo scavo

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>74 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	74 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	74 di 104								

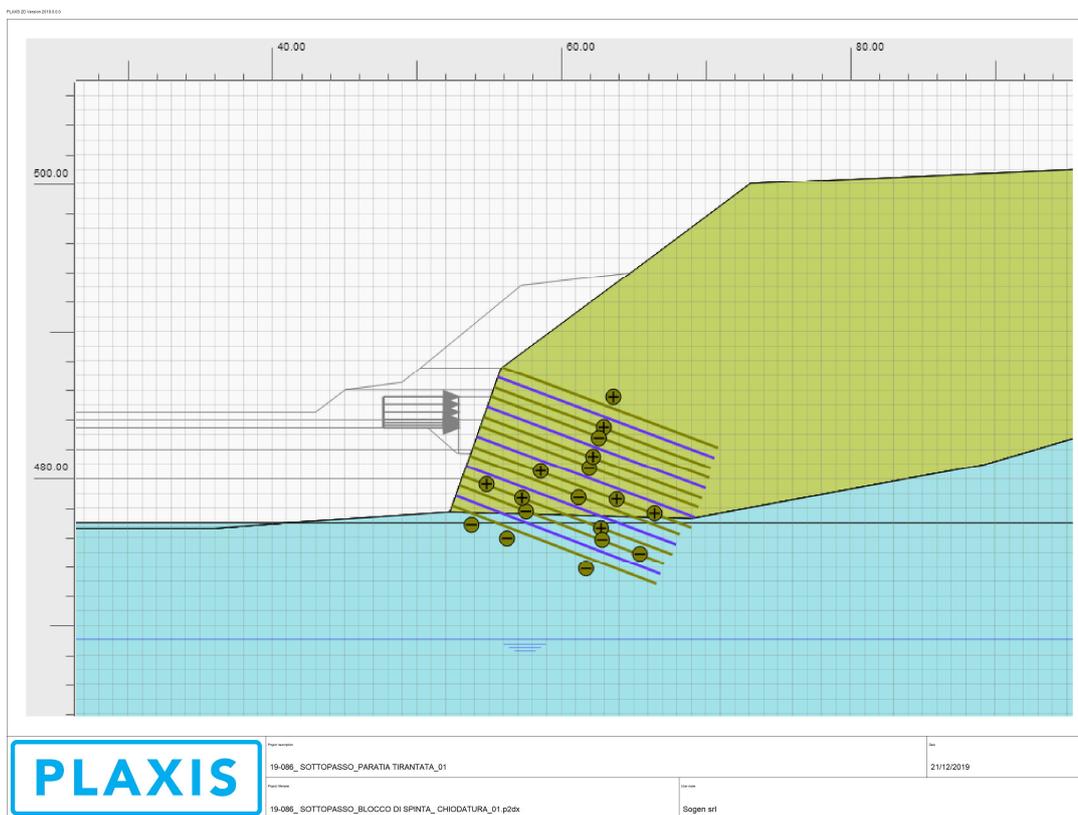


Figura 13.1. Modello geotecnico sezione “chiodatura vasca di varo”

L'altezza massima di scavo per la sezione analizzata risulta essere pari a circa 16.30 metri, di cui 6.40 metri sono di scavo in pendenza, 9.90 di parete chiodata.

13.3 Risultati Plaxis

13.3.1 Analisi degli spostamenti della paratia

Il massimo spostamento orizzontale che si ha sull'intera opera risulta essere pari a 2.5 cm circa.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>75 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	75 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	75 di 104								

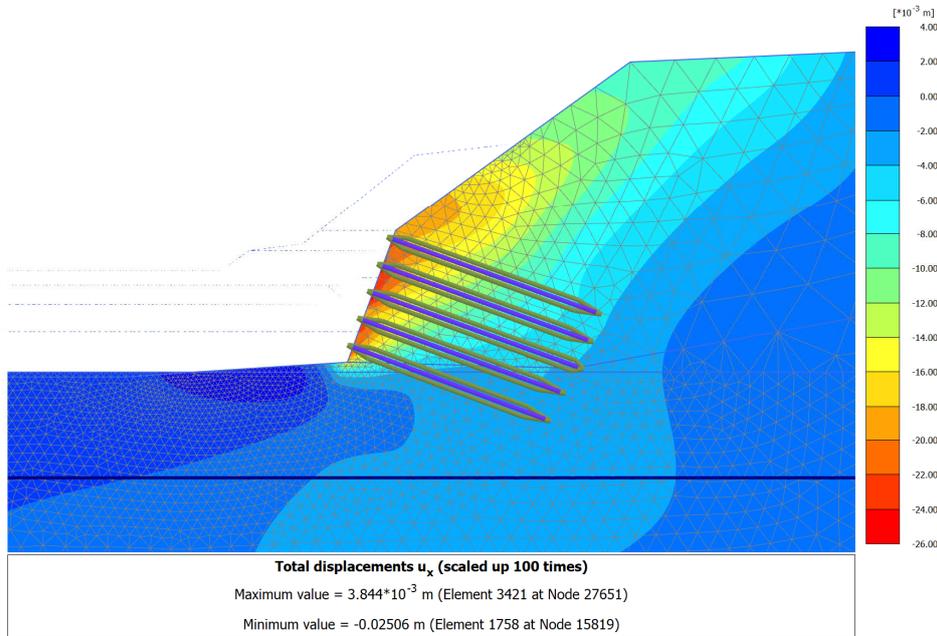


Figura 13.2. Spostamento massimo orizzontale

Il massimo spostamento verticale che si ha sull'intera opera risulta essere pari a circa 2.7 cm e si verifica a fondo scavo per un effetto di detensionamento del terreno che tende a rigonfiare:

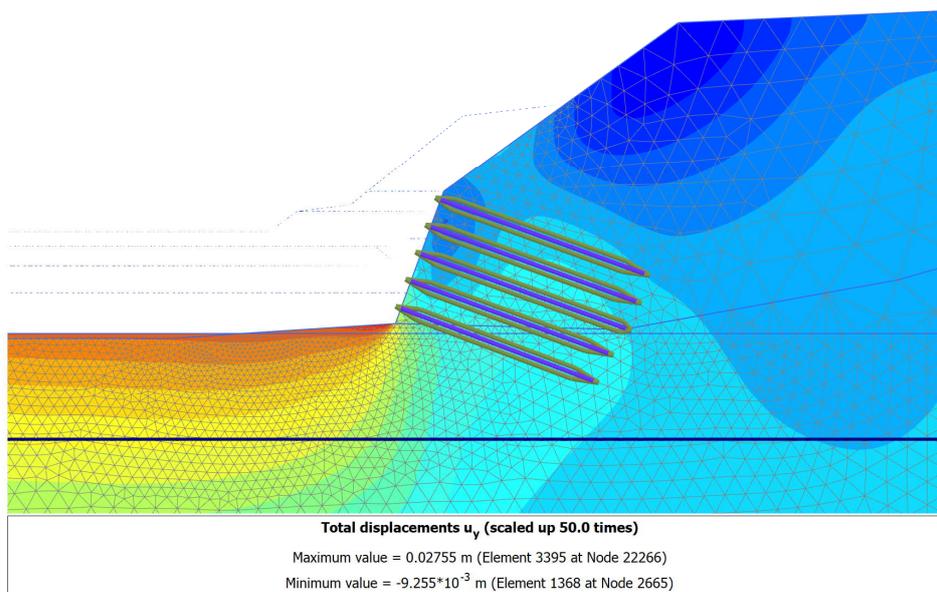


Figura 13.3. Spostamento massimo orizzontale

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>76 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	76 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	76 di 104								

13.3.2 Analisi delle sollecitazioni

Il massimo sforzo assiale agente sui chiodi previsti in corrispondenza della vasca di varo risulta essere pari a 112.80 kN/m:

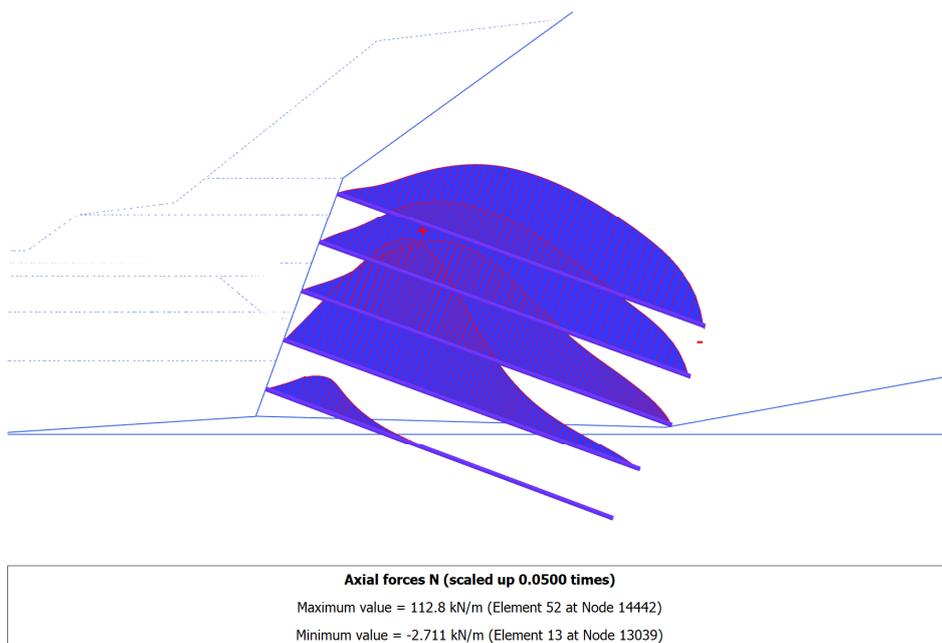
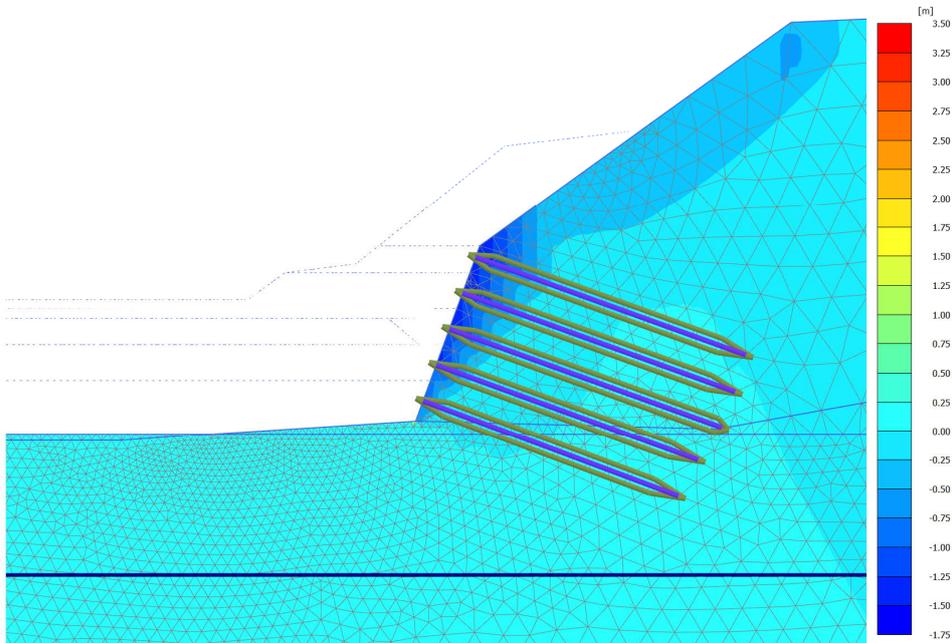


Figura 13.4. Sollecitazioni assiali sui chiodi

13.3.3 C phi reduction

Si rimanda al paragrafo 8.3.3 per maggiori informazioni relativi alla verifica di stabilità attraverso la $c \Phi$ reduction.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>77 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	77 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	77 di 104								



2D Calculation information

Step info				
Phase	C PHI REDUCTION [Phase_16]			
Step	Initial			
Calculation mode	Classical mode			
Step type	Safety			
Updated mesh	False			
Solver type	Picos			
Kernel type	64 bit			
Extrapolation factor	2.000			
Relative stiffness	1.113E-3			
Multipliers				
Soil weight			ΣM_{Weight}	1.000
Strength reduction factor	M_{sf}	1.255E-3	ΣM_{sf}	1.490
Time	Increment	0.000	End time	0.000
Staged construction				
Active proportion total area	M_{Area}	0.000	ΣM_{Area}	0.6359
Active proportion of stage	M_{Stage}	0.000	ΣM_{Stage}	0.000
Forces				
F_x	0.000 kN/m			
F_y	0.000 kN/m			
Consolidation				
Realised $P_{Excess,Max}$	0.000 kN/m ²			

Figura 13.5. c Φ reduction

Il valore di F_s per il caso analizzato risulta essere pari a $1.49 > 1.25$. La verifica è soddisfatta

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>78 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	78 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	78 di 104								

13.4 Risultati slide

Si riporta la verifica di stabilità globale realizzata attraverso il software di calcolo Slide, con i relativi coefficienti di sicurezza F_s individuati con i 4 diversi metodi di calcolo e la superficie di rottura che si genera per il valore di F_s minore. Si considera che, nella modellazione di seguito riportata, i parametri geotecnici inseriti, che fanno riferimento a quanto definito nel paragrafo 4, sono stati ridotti dai coefficienti $\gamma M2$, come previsto da normativa (si rimanda al paragrafo 7.2. per maggior dettaglio).

La verifica di stabilità globale è soddisfatta per tutti gli approcci considerati poiché il valore di F_S risulta superiore a $\gamma R1 = 1.1$.

- Bishop semplificato: $F_S = 1.1.01$
- Janbu corrected: $F_S = 1.108$
- Morgenstern e Price: $F_S = 1.171$
- Spencer: $F_S = 1.148$

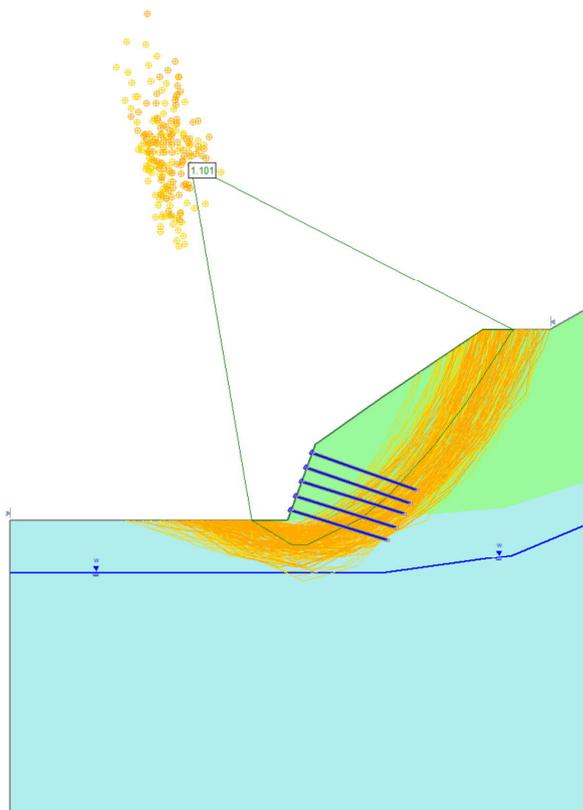


Figura 13.6 Superfici di rottura con metodo di Bishop

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>79 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	79 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	79 di 104								

13.5 Verifiche chiodi

La sollecitazione massima assiale sui chiodi che si ottiene a fondo scavo, definita allo SLE, è:

$$N_{sle} = 112.80 \text{ kN/m}$$

Si applica il coefficiente amplificativo 1.3 per le sollecitazioni permanenti e si moltiplica per l'interasse assunto per i chiodi, pari a 2 metri La sollecitazione massima sul chiodo allo SLU è pari a:

$$N_{max} = 1.3 \times 112.80 \times 2 = 293.30 \text{ kN}$$

Di seguito si eseguono le verifiche geotecniche e strutturali del chiodo.

13.5.1.1 Verifiche geotecniche

13.5.1.1.1 Verifica a sfilamento (pullout)

Per la verifica a sfilamento dei chiodi, occorre considerare un valore di attrito laterale ultimo tra il singolo chiodo ed il suolo da esso attraversato; per la determinazione di tale parametro si fa riferimento alla trattazione di Bustamante-Doix, utilizzando un valore di tensione tangenziale limite pari a 120 kPa (parametro cautelativo), definita alla luce dei sondaggi realizzati in adiacenza al sito di interesse.

Il valore caratteristico R_k della resistenza si ottiene dalla seguente formula:

$$R_k = s \cdot L \cdot \pi \cdot D / \xi_3 = Q_{lim} / \xi_3$$

Dove ξ_3 è un coefficiente adimensionale posto pari a 1.8, e D è il diametro medio reso dei chiodi, pari a 0.15 metri.

$$Q_{lim} = [\pi \times 0.15 \times 16 \times 120] = 904.30 \text{ KN}$$

$$R_k = 904.305 / 1.8 = 502.4 \text{ kN}$$

Seguendo l'approccio 1 combinazione A1+M1+R3 si adotta di un coefficiente parziale $\gamma_R = 1.2$ per gli ancoraggi permanenti, perciò la resistenza di progetto a "pullout" (R_{pd}) risulta:

$$R_{pd} = R_k / \gamma_R = 904 / 1.1 = 456.7 \text{ kN} > N_{ed} = 293.30 \text{ kN}$$

Alla luce dei sondaggi realizzati in sito, il terreno in profondità è composto da roccia filladica con caratteristiche geotecniche buone. Si considera quindi che, nel caso in cui durante la realizzazione dei chiodi si attraversi la roccia in esame, si può considerare un valore di attrito laterale ultimo tra il singolo chiodo ed il suolo da esso attraversato pari a 250 kPa, secondo approccio proposto da Bustamante-Doix. Mantenendo le stesse caratteristiche geometriche e meccaniche del chiodo in condizioni di ghiaia, la lunghezza del chiodo in roccia diventa pari a:

$$L = Q_{lim} / (s \cdot \pi \cdot D) = 904.30 / (250 \cdot \pi \cdot 0.15) = 7.8 \text{ m} \rightarrow 8 \text{ metri}$$

13.5.1.1.2 Verifica a sfilamento delle barre di acciaio

Si calcola il valore f_{bk} con la seguente formula:

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>80 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	80 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	80 di 104								

$$f_{bk}=2,25 \eta f_{ctk}=2,25 \cdot 0,81 \cdot 1,37=2,49 \text{ MPa} \quad \text{con } \eta=(132 - \emptyset)/100 \text{ per barre con } \emptyset > 32 \text{ mm } (\emptyset=51 \text{ mm})$$

Il valore di progetto della tensione tangenziale di aderenza acciaio calcestruzzo (f_{bd}) vale:

$$f_{bd}=f_{bk}/\gamma_c=2,49/1,5=1,665 \text{ MPa} \quad \text{per barre con } \emptyset > 32 \text{ mm } (\emptyset=51 \text{ mm}) \text{ con } \gamma_c=1,5$$

La resistenza di progetto a sfilamento della barra (R_{Bd}) risulta essere la seguente:

$$R_{Bd}=(\pi \emptyset L_d) f_{bd} = \pi \cdot 0,051 \cdot 16 \cdot 1,665 = 4265 \text{ kN}$$

La verifica è soddisfatta essendo la resistenza a sfilamento delle barre in acciaio superiore all'azione considerata:

$$N_{ed_{max}} < R_{Bd} = 293,30 \text{ kN} < 4265 \text{ kN}$$

13.5.1.2 Verifica strutturale

La trazione massima di progetto della barra d'acciaio si determina fattorizzando la trazione massima di snervamento caratteristica con il coefficiente parziale $\gamma_s = 1,15$; pertanto, dalle schede tecniche dei chiodi tipo SIRIVE R51 o equivalenti, si ricava che

$$R_{Td} = 538/1,15 = 468 \text{ kN}$$

Per la verifica tale resistenza deve essere superiore alla sollecitazione di progetto: $N_{ed_{max}} = 293,30 \text{ kN} < R_{Td} = 468 \text{ kN}$. La verifica a trazione è soddisfatta.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>81 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	81 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	81 di 104								

14 PLINTO SOSTEGNO SOLETTA DI VARO

14.1 Premessa

Si riportano nei paragrafi successivi i risultati della modellazione ottenuti attraverso il software di calcolo L-Pile. Si applicano le sollecitazioni sul micropalo come definito da “Relazione di calcolo opere definitive sottopasso”, codice IB0A00EZZCLNV0970002A: In particolare, le sollecitazioni agenti in testa al singolo micropalo, per le varie combinazioni analizzate sono pari a:

$N_{max\ compressione} = 1752\ kN$

$N_{max\ trazione} = -64\ kN$

$T_{max} = -52\ kN$

$M_{max\ xx} = 20.20\ kNm$

$M_{max\ yy} = 20.30\ kNm$

Per analizzare le sollecitazioni agenti sul micropalo si considerano quindi i risultati ottenuti dalla modellazione tramite L-Pile.

14.2 Modello di calcolo L-Pile

Si riporta di seguito il modello L-Pile analizzato.

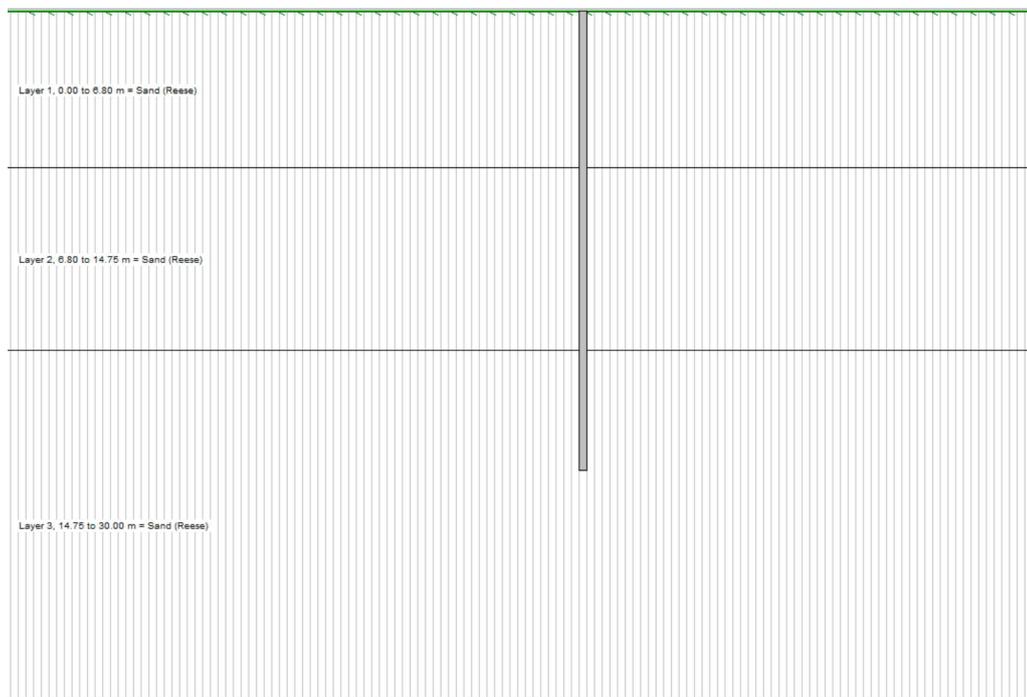


Figura 14.1 Modello di calcolo con software L-Pile

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>82 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	82 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	82 di 104								

14.3 Risultati

Si riportano di seguito i risultati in termini di sollecitazioni taglianti e flettenti agenti sul micropalo, dovuti all'azione di carichi in testa precedentemente esposti.

Il massimo taglio che si esercita sul micropalo è pari a 52 kN e si sviluppa in testa al micropalo stesso.

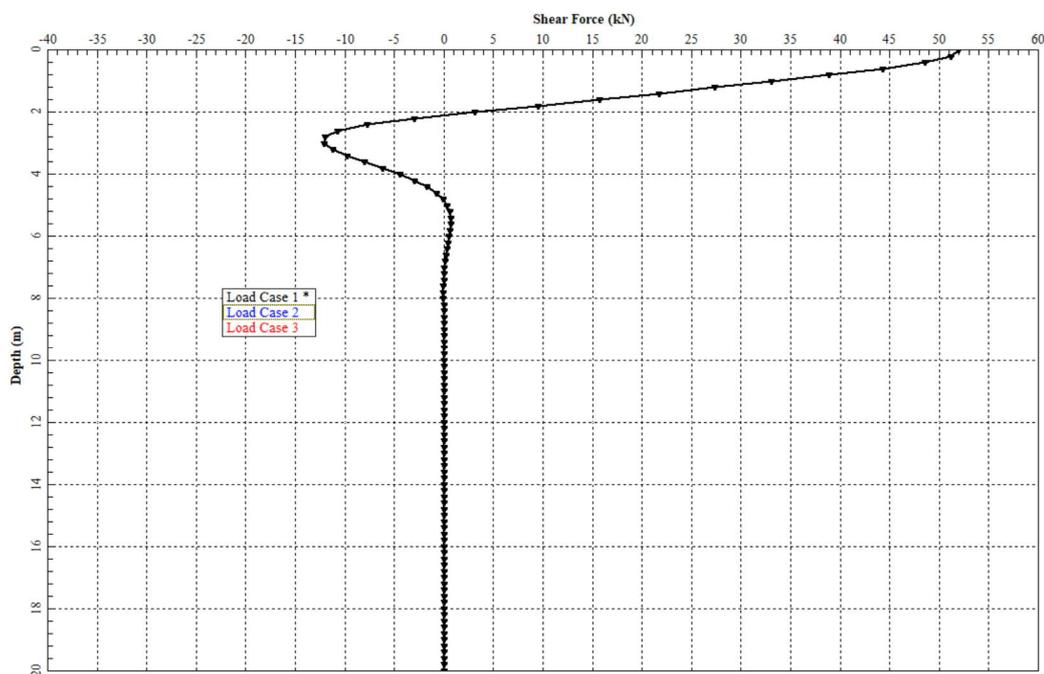


Figura 14.2 Andamento del taglio sul micropalo

Il massimo momento che si esercita sul micropalo è pari a 18 kNm e si sviluppa a circa -2 metri dalla testa del micropalo.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>83 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	83 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	83 di 104								

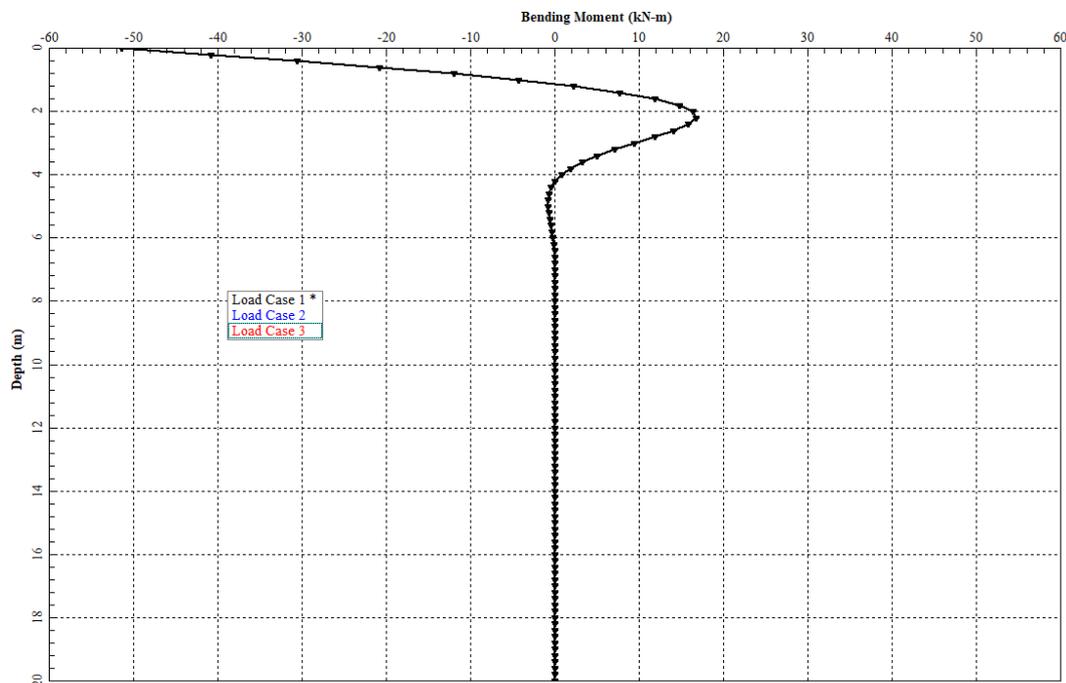


Figura 14.3 Andamento del momento sul micropalo

14.4 Verifiche micropali

14.4.1 Verifiche geotecniche

Si esegue il calcolo della capacità portante di progetto dei micropali secondo la combinazione A1+M1+R3.

Capacità portante laterale

Per la capacità portante laterale unitaria si pone:

$$q_l = \alpha c_u + \sigma'_v k \tan \phi$$

Si definiscono i valori dell'angolo d'attrito ϕ per gli strati incoerenti a partire dai valori definiti da modello geotecnico, secondo l'esperienza dello scrivente e le indicazioni di letteratura. Nel caso qui analizzato i terreni sono tutti incoerenti quindi il contributo alla resistenza laterale verrà fornito solo dal secondo termine.

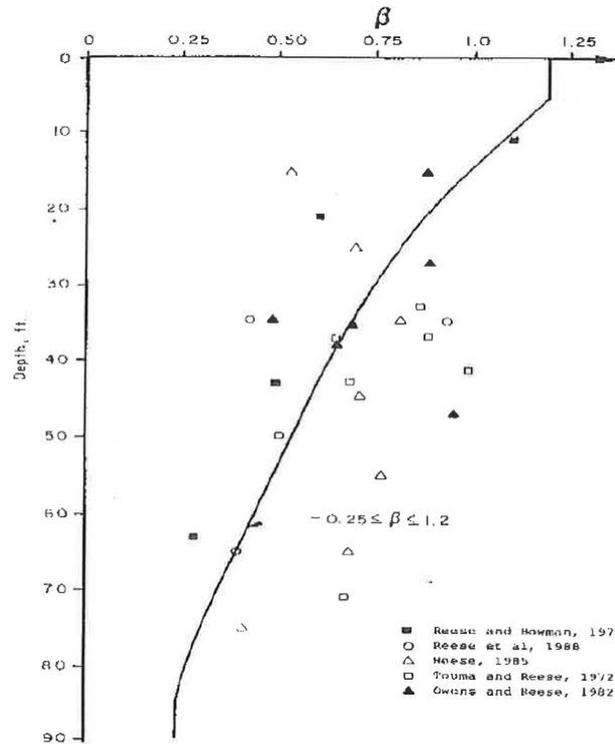
I valori di k sono definiti attraverso il “metodo beta”, secondo le teorie proposte da Reese e O’Neill (1988), valide per la tecnologia di esecuzione del palo in questione relativamente alla natura ed al grado di addensamento degli strati. Il metodo beta può essere utilizzato in particolari condizioni geotecniche quali terreni superficiali sciolti e sottofalda.

Il valore di beta può essere facilmente definito secondo la formula che segue:

$$\beta = 1.5 - 0.135 * z^{0.5}$$

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<p>COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO</p> <p>IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 84 di 104</p>

dove z risulta essere la profondità dalla superficie del terreno, misurata in piedi. Il valore di β varia nel range $0.25 \div 1.2$ e ha andamento decrescente. Nel grafico che segue viene riportato l'andamento in funzione della profondità.



Risulta quanto segue, per le verticali indagate.

SONDAGGIO		γ medio	(t/mc)	2					ft	m		
		prof. falda	m	14.75					1	0.3048		
da	a	diametro	L tratto	σ'	ϕ	cu	α	K metodo beta	A laterale	s	S	
(m da p.c.)	(m da p.c.)	(m)	(m)	(t/mq)	($^\circ$)	(t/mq)			(mq)	(t/mq)	(t)	
0	2	0.3	2	2	35			1.20	1.88	1.68	3.17	
2	4	0.3	2	6	35			1.15	1.88	4.85	9.13	
4	6	0.3	2	10	35			1.08	1.88	7.53	14.20	
6	6.8	0.3	0.8	12.8	35			1.05	0.75	9.40	7.08	
6.8	9	0.3	2.2	15.8	36			0.98	2.07	11.26	23.34	
9	12	0.3	3	21	36			0.90	2.83	13.74	38.84	
12	15	0.3	3	28.25	36			0.83	2.83	17.03	48.15	
15	18	0.3	3	31.25	36			0.77	2.83	17.39	49.17	
18	20	0.3	2	33.75	36			0.73	1.88	17.81	33.57	
20	22	0.3	2	35.75	36			0.69	1.88	17.88	33.71	
PORTATA LATERALE (t) =											260.37	

Capacità portante di punta

Per la capacità portante di punta unitaria si pone:

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>85 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	85 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	85 di 104								

$$q_b = N_q \sigma'_v + N_c c_u$$

Trattandosi di strati in profondità di natura prevalentemente granulare si trascura il termine $N_c c_u$ e si adotta un coefficiente $N_q = 45$ secondo le indicazioni in letteratura (cfr. AGI), l'esperienza dello scrivente ed il grado di immersione nel substrato portante.

Capacità portante totale

Si ottengono i valori a rotture di resistenza laterale e di punta sotto riportate.

	SONDAGGIO
	(kN)
Qi	2603.68
Qb	1168.37

Si calcolano i valori medi e i valori minimi della resistenza laterale e di punta.

Si applicano poi i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 per un numero di verticali indagate pari a 1, a vantaggio di sicurezza.

Si applicano infine i coefficienti parziali sulle resistenze γ_{R3} , pari a 1,15 e 1,35 rispettivamente per la resistenza laterale e di base in compressione, e $\gamma_{R3} = 1,25$ per pali trivellati soggetti a trazione. Si ottiene quanto segue.

	SONDAGGIO	MEDIA	MIN	ξ_3	ξ_4	CARATT.	COMPRESSIONE		TRAZIONE	
							γ_{R3}	Rd	γ_{R3}	Rd
	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(kN)	(-)	(kN)	(-)	(kN)
Qi	2603.68	2603.68	2603.68	1.7	1.7	1532	1.15	1331.8	1.25	1225.3
Qb	1168.37	1168.37	1168.37	1.7	1.7	687	1.35	509.1	(-)	(-)
							Rcd	1841	Rtd	1225

La capacità portante totale del singolo micropalo di diametro $d=300$ mm, lunghezza 22 metri risulta essere $R_{cd}=1841$ kN (compressione) e $R_{td}=1225$ kN (trazione). Le verifiche geotecniche del micropalo sono soddisfatte in quanto:

$$R_{cd}=1841 \text{ kN} > N_{\max} \text{ compressione} = 1752 \text{ kN}$$

$$R_{td}=1225 \text{ kN} > N_{\max} \text{ trazione} = 586.75 \text{ kN}$$

14.4.2 Verifiche strutturali

Si assumono le sollecitazioni massime assiali, flessionali, taglianti e assiali agenti sui micropali per ogni combinazione di carico studiata e si definisce un unico tubolare valido per tutti i micropali. Si assume un tubolare di dimensioni 193.7/16 mm in acciaio di classe S355. Attraverso un foglio di calcolo interno si esegue la verifica strutturale del tubolare. Di seguito si riportano le sollecitazioni legate alla combinazione di carico più sfavorevole.

$$N_{ed,c} = 1752 \text{ kN}$$

$$T_{ed} = 52 \text{ kN}$$

IMPRESE

QUADRIO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

Impresa Silvio Dierodon
consorzio
triveneto
rocciatori

**SO
GEN**

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

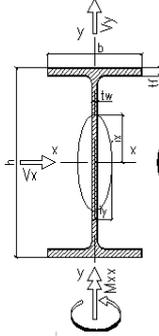
SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 86 di 104

Med= 18 kNm

La verifica del tubolare risulta essere soddisfatta.

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3					
Geometrics Dimensions			Statics Characteristic		
Shape	Ø 193.7x20		A=	109.1	cm2
			Weight=	85.6	kg/m
			Avx =	69.5	cm2
			Avy =	69.5	cm2
			Jxx =	4171.8	cm4
			Jyy =	4171.8	cm4
			Wxx =	430.7	cm3
			Wyy =	430.7	cm3
			Wpl,xx =	606.1	cm3
			Wpl,yy =	606.1	cm3
			Sx =	303.1	cm3
			Sy =	303.1	cm3
			ix =	6.18	cm
			iy =	6.18	cm
			ψx =	1.41	
			ψy =	1.41	
Material Property and Partial Factor			 $\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \quad \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$ $\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \quad \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$ $\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \quad \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$		
Steel grade	S355J0				
E =	2060000 daN/cm2				
fyk =	3550 daN/cm2				
γM0 =	1.05				
γM1 =	1.05				
Axial Force			Nsd =	175 200	daN
Internal Force Acting in xx direction			Internal Force Acting in YY direction		
Shape of bending moment	Linear		Shape of bending moment	Linear	
Msd,xx,A =	0 daNm		Msd,yy,A =	1800 daNm	
Msd,xx,B =	0 daNm		Msd,yy,B =	0 daNm	
Msd,xx =	0 daNm		Msd,yy =	1800 daNm	
Vsd,x =	0 daN		Vsd,y =	5200 daN	
Axial Force Resistance			c		
Npl,rd = A fy / γM0 =	368806.5 daN		Nsd/Nrd =	0.475	< 1
Shear Plastic Resistance					
Vpl,rd,x =	135 625 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρx =	0.000	Vsd,x / Vpl,rd,x = 0.000 < 1
Vpl,rd,y =	135 625 daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,y	ρy =	0.000	Vsd,y / Vpl,rd,y = 0.038 < 1
Bending Moment Resistance					
Mcrd,xx = Wpl,x(1 - ρx) fy / γM0	20492.0 daNm		Msd,xx / Mcrd,xx =	0.000	< 1
Mcrd,yy = Wpl,y(1 - ρy) fy / γM0	20492.0 daNm		Msd,yy / Mcrd,yy =	0.088	< 1
Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance					
Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =			0.475 + 0 + 0.088		0.563 < 1

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>87 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	87 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	87 di 104								

15 PONTE GUIDO

15.1 Premessa

Si riportano di seguito i risultati della modellazione dei micropali e dei plinti per il sostegno del ponte provvisorio Gui.Do per il sostegno del tratto ferroviario nella zona del futuro sottopasso. Per una dettagliata descrizione del ponte GUI.Do si rimanda ai documenti allegati.

Si considerano due tipologie di plinti:

- Plinto tipo A: n. 1 appoggi
- Plinto tipo B: n. 2 appoggi

Si riportano di seguito le caratteristiche dei plinti e dei micropali.

Caratteristiche plinto di fondazione tipo A.

Plinto tipo A	
B (m)	1.5
L (m)	0.6
h (m)	0.5
N° pali afferenti	2
γ_{cls} (kN/m ³)	25
PP _{plinto} (kN)	11.25

Tabella 15.1 Caratteristiche plinti di fondazione tipo B.

Plinto tipo B e tipo C	
B (m)	1.95
L (m)	1.2
h (m)	0.5
N° pali afferenti	4
γ_{cls} (kN/m ³)	25
PP _{plinto} (kN)	29.25

Per quanto riguarda le sollecitazioni sul sistema fondazionale, si fa riferimento alla Relazione di Calcolo “Ponte GUI.DO per il sostegno provvisorio dei binari ferroviari – Luce di calcolo L=20.40 m”, dove si analizzano tutte le combinazioni di carico possibili sulla struttura considerando il peso proprio della stessa, i carichi permanenti, le azioni variabili derivanti dal passaggio del convoglio ferroviario, dalle variazioni termiche, del vento e sismiche.

Le massime sollecitazioni allo SLU di ciascuna trave in corrispondenza dell'appoggio sono le seguenti:

- Massima reazione verticale: $F_z = 1212.1$ kN;

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRI GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO G EN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>88 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	88 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	88 di 104								

- Massima reazione longitudinale: $F_L = 66.0$ kN concomitante con quella trasversale di 68.5 kN;
- Massima reazione trasversale: $F_T = 91.4$ kN concomitante con quella longitudinale di 0.1 kN.

Tali azioni agiscono all'estradosso del plinto in corrispondenza degli appoggi. Si sottolinea che tali appoggi presentano una eccentricità rispetto al centro del plinto pari a circa $e=0.4$ m per il plinto tipo A e una eccentricità pari a $e1=0.5$ m ed $e2=0.08$ m per il plinto tipo B (si rimanda agli elaborati grafici per maggiori dettagli). Si sono analizzate quindi le combinazioni di carico tenendo conto di tale eccentricità.

In particolar modo, per il plinto tipo A, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

Combinazione	Fz (kN)	F_L (kN)	F_T (kN)	note
Combinazione 1	1212.1	66	68.5	Eccentricità e del carico
Combinazione 2	1212.1	91.4	0.1	Eccentricità e del carico

Per il plinto tipo B, si sono considerate le seguenti combinazioni di carico:

Combinazione	Fz (kN)		F_L (kN)		F_T (kN)		Note
	1^ appoggio	2^ appoggio	1^ appoggio	2^ appoggio	1^ appoggio	2^ appoggio	
Combinazione 1	1212.1	1212.1	66	66	68.5	68.5	Entrambi gli appoggi caricati
Combinazione 2	1212.1	1212.1	91.4	91.4	0.1	0.1	Entrambi gli appoggi caricati
Combinazione 3	1212.1	0	66	0	68.5	0	1 appoggio caricato Eccentricità carico e1
Combinazione 4	1212.1	0	91.4	0	0.1	0	1 appoggio caricato. Eccentricità carico e1
Combinazione 5	0	1212.1	0	66	0	68.5	1 appoggio caricato Eccentricità carico e2
Combinazione 6	0	1212.1	0	91.4	0	0.1	1 appoggio caricato Eccentricità carico e2

Alla sollecitazione verticale agente sopra definita è stato aggiunto il peso proprio del plinto opportunamente coefficientato come da normativa vigente:

$$(G_{\text{plinto tipo A}})_{\text{SLU}} = 1.3 \times PP_{\text{plinto}} = 1.3 \times 11.25 = 14.6 \text{ kN}$$

$$(G_{\text{plinto tipo B e C}})_{\text{SLU}} = 1.3 \times PP_{\text{plinto}} = 1.3 \times 29.25 = 38.0 \text{ kN}$$

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierdonk consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>89 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	89 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	89 di 104								

Si considera una eccentricità degli appoggi rispetto al baricentro del plinto pari a 0.4 metri.

15.2 Modello di calcolo group

Si riporta di seguito una vista del modello di calcolo per il plinto a 2 micropali realizzato con il software di calcolo Group.

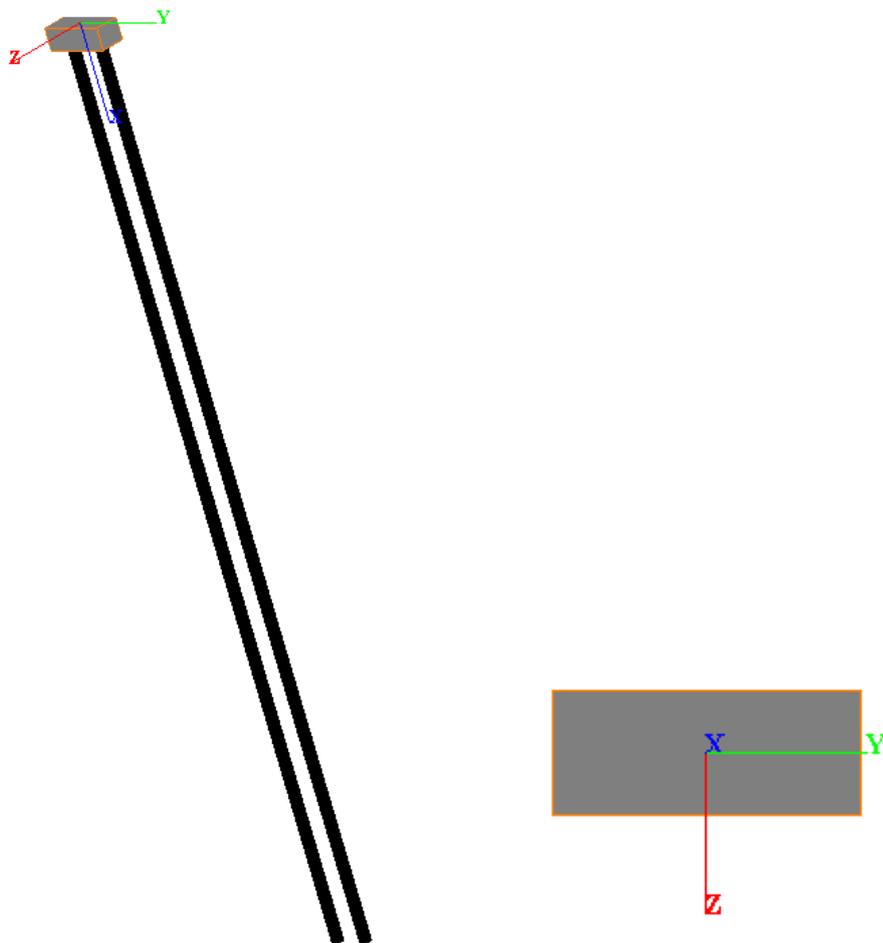


Figura 15.1 modello di calcolo plinto a 2 micropali

Si riporta di seguito una vista del modello di calcolo per il plinto a 4 micropali realizzato con il software di calcolo Group.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvia Dirosan</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>90 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	90 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	90 di 104								

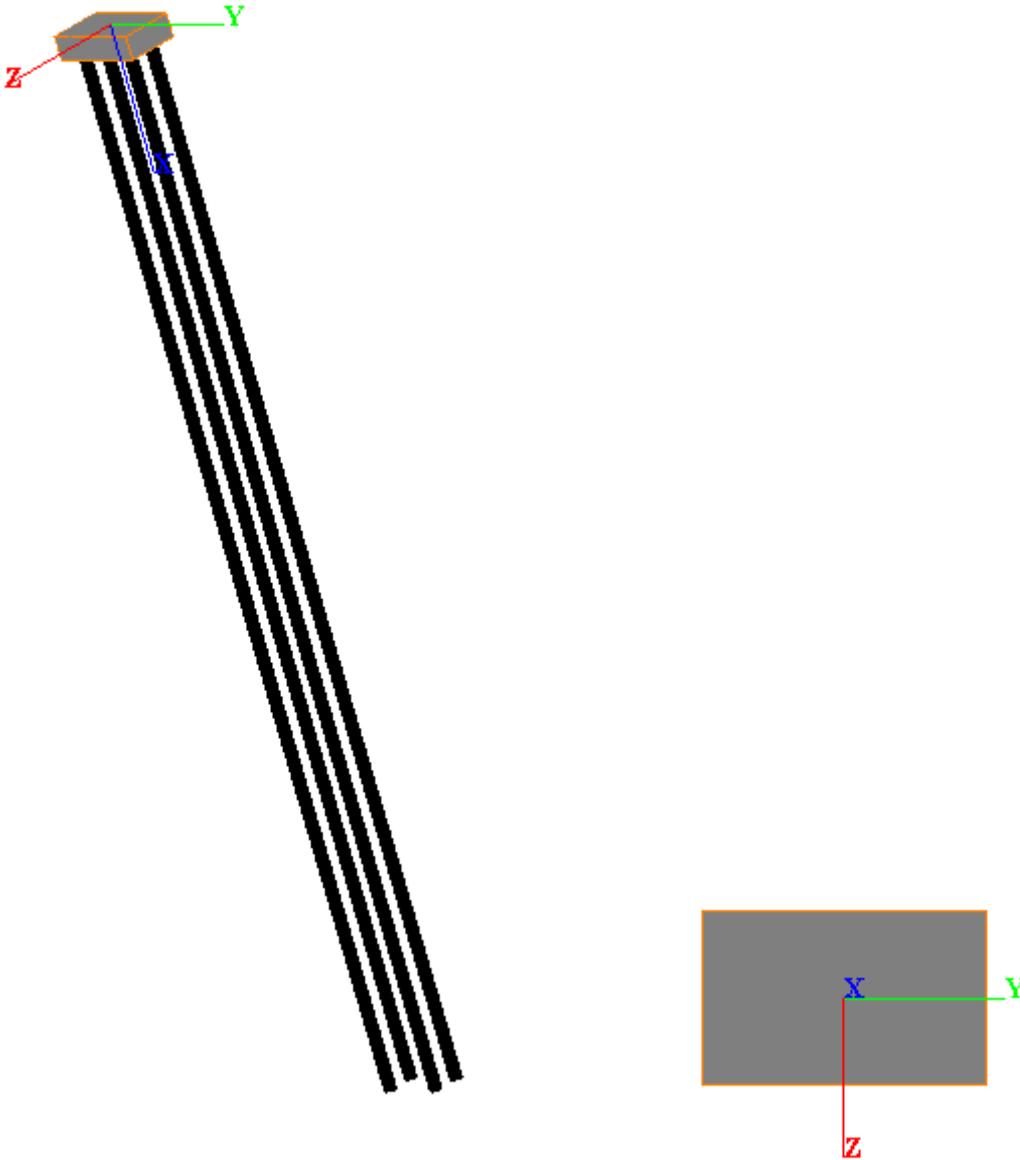


Figura 15.2 modello di calcolo plinto a 4 micropali

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierobon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>91 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	91 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	91 di 104								

15.3 Risultati

15.3.1 Plinto tipo A: n. 1 appoggi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti sul plinto a due micropali per le combinazioni di carico considerate. Si riportano graficamente le sole sollecitazioni massime in termini di sforzo assiale, di momento e di taglio (le sollecitazioni massime non corrispondono alla medesima combinazione di carico).

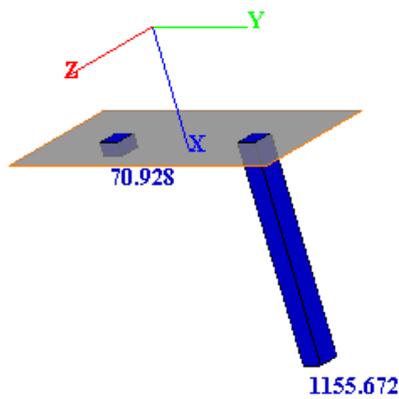


Figura 15.3 Sforzo assiale di compressione massimo

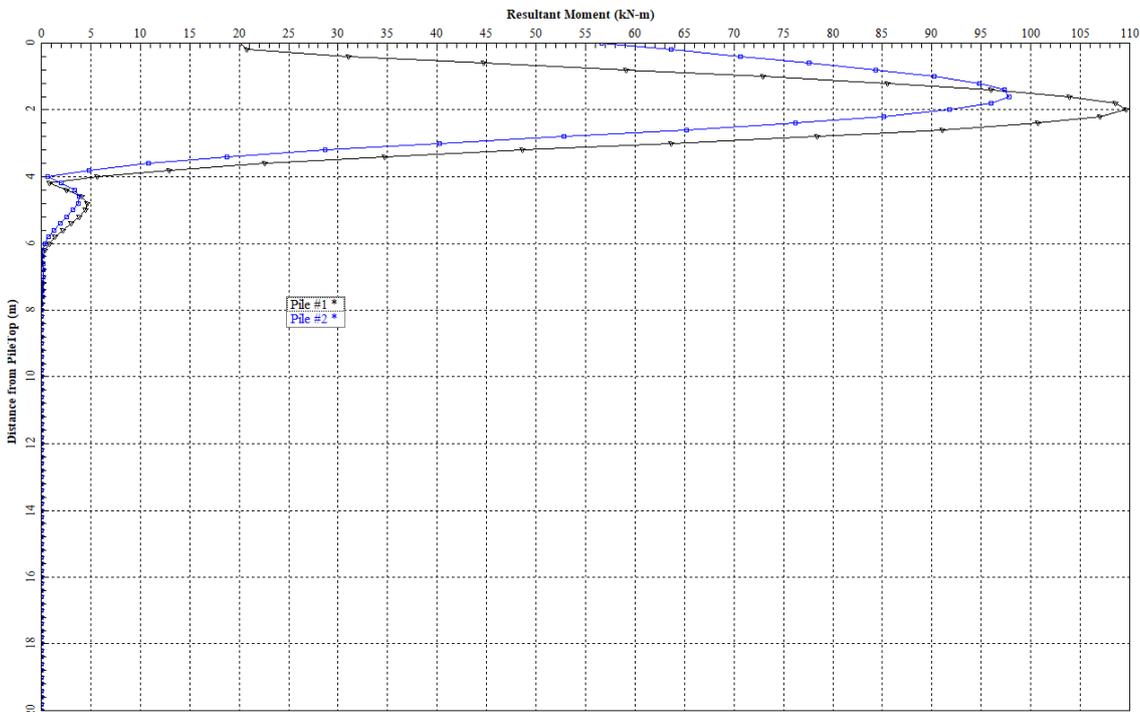


Figura 15.4 massimo momento flettente sul micropalo

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>92 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	92 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	92 di 104								

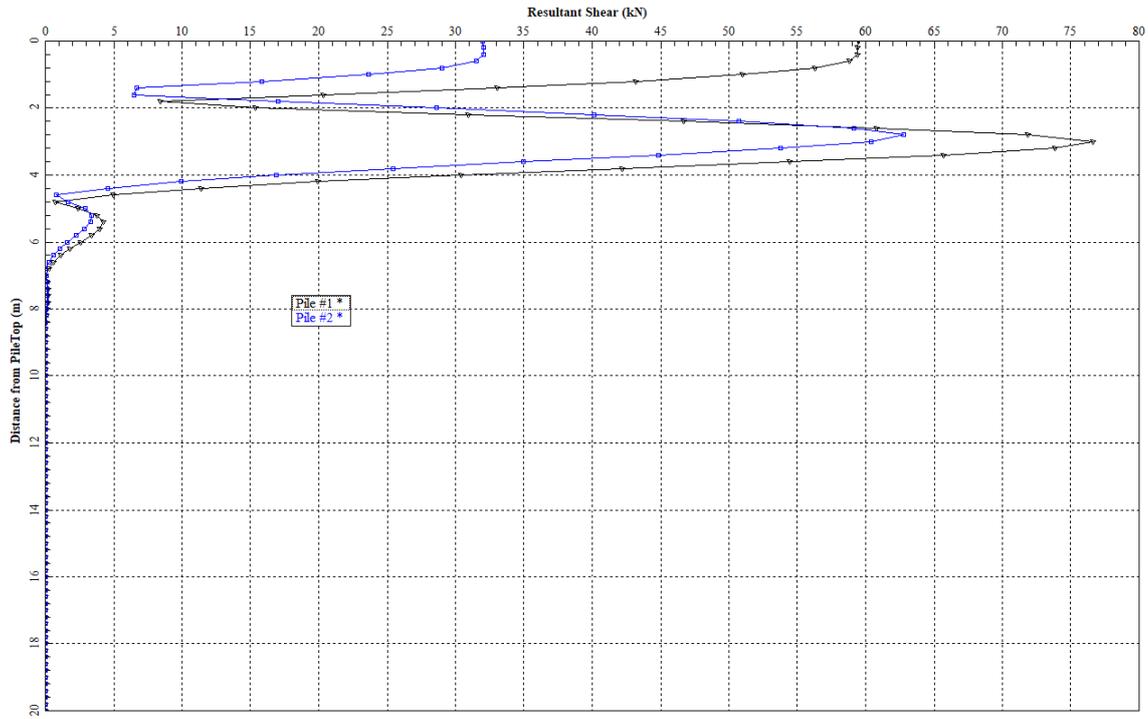


Figura 15.5 massima azione tagliante sul micropalo

Combinazione	Nmax compr (kN)	Nmax traz (kN)	Mmax (kNm)	Tmax (kN)
Combinazione 1	1155.70	0	87	62
Combinazione 2	1021.80	0	109	76

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Diarodon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>93 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	93 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	93 di 104								

15.3.2 Plinto tipo B: n. 2 appoggi

Si riportano di seguito i risultati ottenuti sul plinto a due micropali per le combinazioni di carico considerate. Si riportano graficamente le sole sollecitazioni massime in termini di sforzo assiale, di momento e di taglio (le sollecitazioni massime non corrispondono alla medesima combinazione di carico).

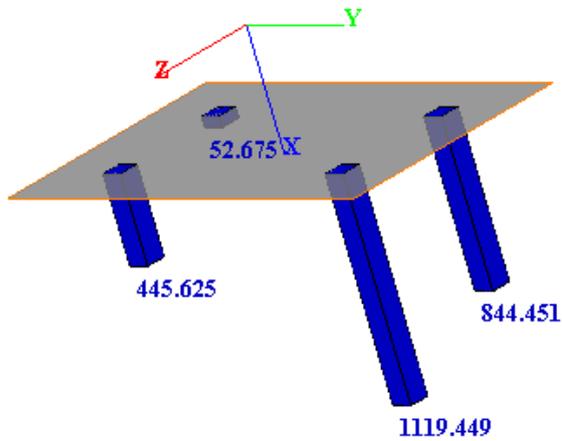


Figura 15.6 Sforzo assiale di compressione massimo

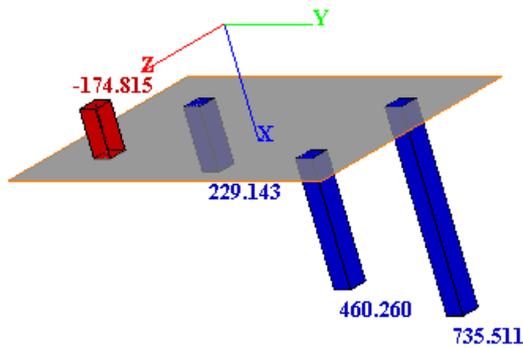


Figura 15.7 Sforzo assiale di trazione massimo

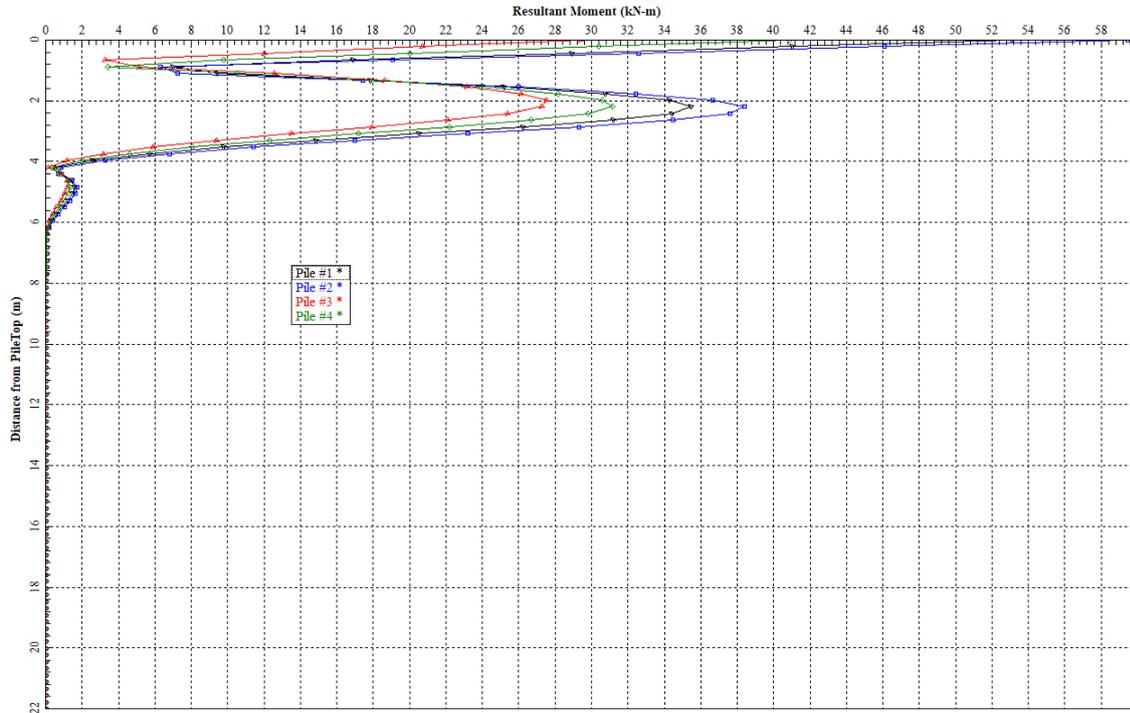


Figura 15.8 Massimo momento flettente sul micropalo

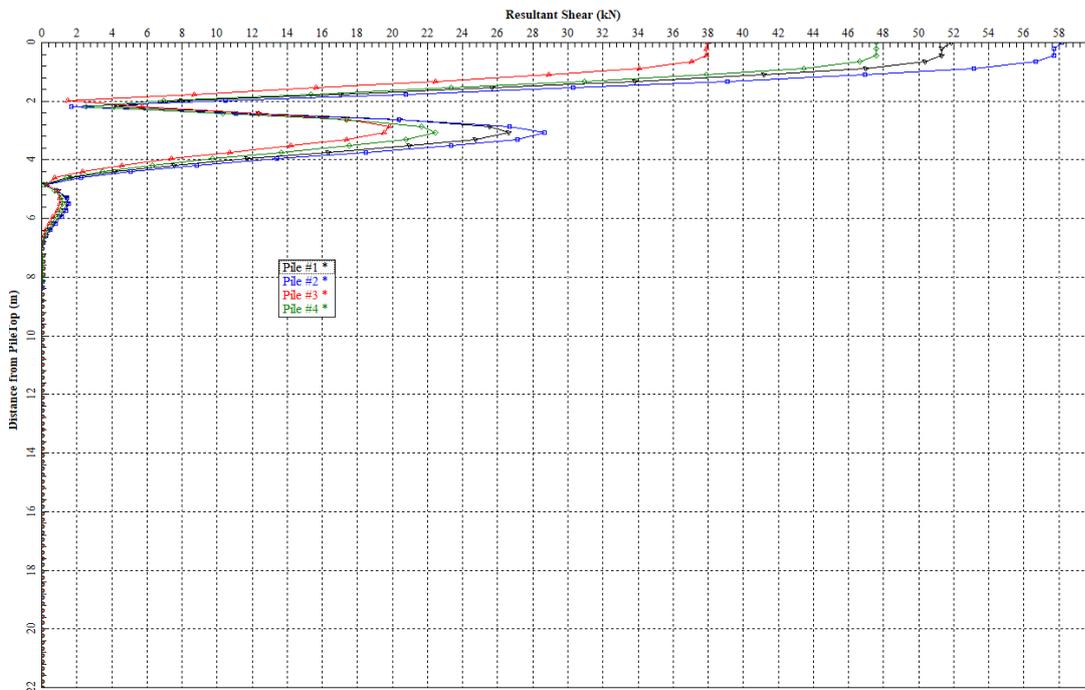


Figura 15.9 Massimo taglio

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dirosan consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>95 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	95 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	95 di 104								

Si riportano di seguito le sollecitazioni massime ottenute da modello di calcolo per ogni combinazione di carico analizzata.

Combinazione	Nmax compr (kN)	Nmax traz (kN)	Mmax (kNm)	Tmax (kN)
Combinazione 1	1119.45	0	60	58
Combinazione 2	1086.90	0	65	61
Combinazione 3	700.93	107.10	25	27
Combinazione 4	694.40	83.61	26.50	25.50
Combinazione 5	735.50	174.82	52	39.20
Combinazione 6	676.10	104.40	52	38

15.4 Verifiche micropali

15.4.1 Verifiche geotecniche

Si esegue il calcolo della capacità portante di progetto dei micropali secondo la combinazione A1+M1+R3.

Capacità portante laterale

Per la capacità portante laterale unitaria si pone:

$$q_l = \alpha c_u + \sigma'_v k \tan \phi$$

Si definiscono i valori dell'angolo d'attrito ϕ per gli strati incoerenti a partire dai valori definiti da modello geotecnico, secondo l'esperienza dello scrivente e le indicazioni di letteratura. Nel caso qui analizzato i terreni sono tutti incoerenti quindi il contributo alla resistenza laterale verrà fornito solo dal secondo termine.

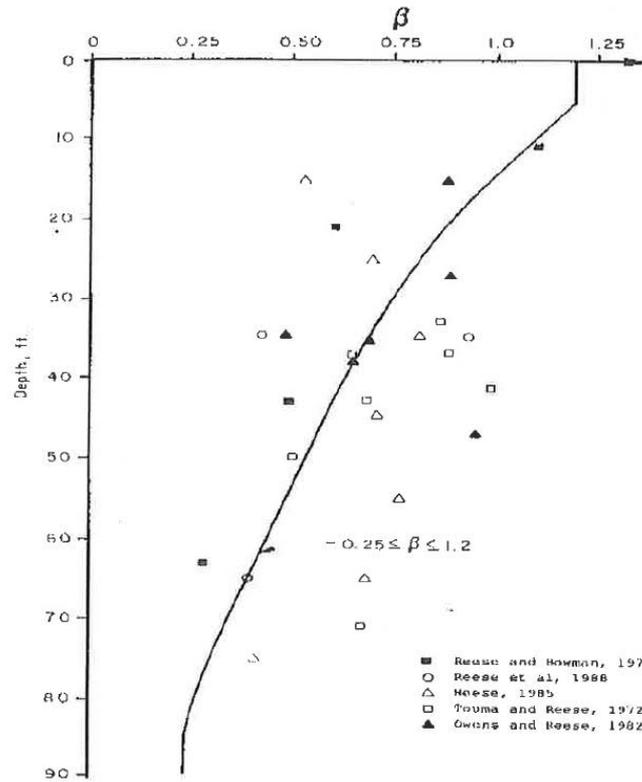
I valori di k sono definiti attraverso il "metodo beta", secondo le teorie proposte da Reese e O'Neill (1988), valide per la tecnologia di esecuzione del palo in questione relativamente alla natura ed al grado di addensamento degli strati. Il metodo beta può essere utilizzato in particolari condizioni geotecniche quali terreni superficiali sciolti e sottofalda.

Il valore di beta può essere facilmente definito secondo la formula che segue:

$$\beta = 1.5 - 0.135 * z^{0.5}$$

dove z risulta essere la profondità dalla superficie del terreno, misurata in piedi. Il valore di β varia nel range 0.25÷1.2 e ha andamento decrescente. Nel grafico che segue viene riportato l'andamento in funzione della profondità.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<p>COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO</p> <p>IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 96 di 104</p>



Risulta quanto segue, per le verticali indagate.

			γ medio	(t/mc)	2					ft	m		
			prof. falda	m	14.75					1	0.3048		
da	a		diametro	L tratto	σ'	ϕ	cu	α	K metodo beta	A laterale	s	S	
(m da p.c.)	(m da p.c.)		(m)	(m)	(t/mq)	(°)	(t/mq)			(mq)	(t/mq)	(t)	
0	3		0.3	3	3	35			1.20	2.83	2.52	7.12	
3	6		0.3	3	9	35			1.08	2.83	6.78	19.17	
6	6.8		0.3	0.8	12.8	35			1.05	0.75	9.40	7.08	
6.8	9		0.3	2.2	15.8	36			0.98	2.07	11.26	23.34	
9	12		0.3	3	21	36			0.90	2.83	13.74	38.84	
12	14.75		0.3	2.75	26.75	36			0.84	2.59	16.24	42.08	
14.75	16		0.3	1.25	30.125	36			0.81	1.18	17.68	20.83	
PORTATA LATERALE (t) =												158.47	

Capacità portante di punta

Per la capacità portante di punta unitaria si pone:

$$q_b = N_q \sigma'_v + N_c c_u$$

Trattandosi di strati in profondità di natura prevalentemente granulare si trascura il termine $N_c c_u$ e si adotta un coefficiente $N_q = 45$ secondo le indicazioni in letteratura (cfr. AGI), l'esperienza dello scrivente ed il grado di immersione nel substrato portante.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>97 di 104</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	97 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	97 di 104								

Capacità portante totale

Si ottengono i valori a rotture di resistenza laterale e di punta sotto riportate.

	SONDAGGIO
	(kN)
Ql	1584.70
Qb	977.62

Si calcolano i valori medi e i valori minimi della resistenza laterale e di punta.

Si applicano poi i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 per un numero di verticali indagate pari a 1, a vantaggio di sicurezza.

Si applicano infine i coefficienti parziali sulle resistenze γ_{R3} , pari a 1,15 e 1.35 rispettivamente per la resistenza laterale e di base in compressione, e $\gamma_{R3} = 1,25$ per pali trivellati soggetti a trazione. Si ottiene quanto segue.

	SONDAGGIO	MEDIA	MIN	ξ_3	ξ_4	CARATT.	COMPRESSIONE		TRAZIONE	
							γ_{R3}	Rd	γ_{R3}	Rd
	(kN)	(kN)	(kN)	(-)	(-)	(kN)	(-)	(kN)	(-)	(kN)
Ql	1584.70	1584.70	1584.70	1.7	1.7	932	1.15	810.6	1.25	745.7
Qb	977.62	977.62	977.62	1.7	1.7	575	1.35	426.0	(-)	(-)
							Rcd	1237	Rtd	746

La capacità portante totale del singolo micropalo di diametro $d=300$ mm, lunghezza 16 metri risulta essere $R_{cd}=1237$ kN (compressione) e $R_{td}=746$ kN (trazione). Le verifiche geotecniche del micropalo sono soddisfatte in quanto:

$$R_{cd}=1237 \text{ kN} > N_{\max} \text{ compressione} = 1155.70 \text{ kN (combinazione 1, plinto tipo A)}$$

$$R_{td}=746 \text{ kN} > N_{\max} \text{ trazione} = 174.80 \text{ kN (combinazione 5, plinto tipo B)}$$

15.4.2 Verifiche strutturali

Si assumono le sollecitazioni massime assiali, flessionali, taglianti e assiali agenti sui micropali per ogni combinazione di carico studiata e si definisce un unico tubolare valido per tutti i micropali. Si assume un tubolare di dimensioni 193.7/16 mm in acciaio di classe S355. Attraverso un foglio di calcolo interno si esegue la verifica strutturale del tubolare. Di seguito si riportano le sollecitazioni legate alla combinazione di carico più sfavorevole, che corrisponde alla combinazione di carico 2 per il plinto tipo A.

$$N_{ed,c} = 1021.80 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 109 \text{ kNm}$$

$$T_{ed} = 76 \text{ kN}$$

La verifica del tubolare risulta essere soddisfatta.

IMPRESE

QUADRO GAETANO
COSTRUZIONI S.P.A.

Impresa Silvio Dierodon
consorzio
triveneto
rocciatori

PROGETTISTI

P.A.T. s.r.l.

SO
GEN

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO

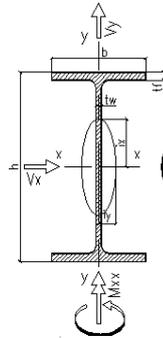
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IB0A 00 E ZZ CL NV0970001 B 98 di 104

Resistance of cross section beam type in class section 1 and 2 UNI EN 1993-1-1:1994 EC3

Geometrics Dimensions		Statics Characteristic					
Shape	Ø 193.7x20	A=	109.1	cm2	Weight=	85.6	kg/m
		Avx =	69.5	cm2	Avy=	69.5	cm2
		Jxx =	4171.8	cm4	Jyy =	4171.8	cm4
		Wxx =	430.7	cm3	Wyy =	430.7	cm3
		Wpl,xx =	606.1	cm3	Wpl,yy =	606.1	cm3
		Sx =	303.1	cm3	Sy =	303.1	cm3
		ix =	6.18	cm	iy =	6.18	cm
		ψ x =	1.41		ψ y =	1.41	

Material Property and Partial Factor

Steel grade	S355J0
E =	2060000 daN/cm2
fyk=	3550 daN/cm2
γM0=	1.05
γM1=	1.05



$$\lambda_x = \frac{l_{0,x}}{i_y}, \quad \lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_x}$$

$$\sigma_{crit,x} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2}, \quad \sigma_{crit,y} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$$

$$\bar{\lambda}_x = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,x}}}, \quad \bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,y}}}$$

Axial Force	Nsd=	102 180	daN
--------------------	------	---------	-----

Internal Force Acting in xx direction

Internal Force Acting in YY direction

Shape of bending moment		Shape of bending moment	
Msd,xx,A=	0 daNm	Msd,yy,A=	10900 daNm
Msd,xx,B=	0 daNm	Msd,yy,B=	0 daNm
Msd,xx =	0 daNm	Msd,yy =	10900 daNm
Vsd,x=	0 daN	Vsd,y=	7600 daN

Axial Force Resistance

Npl,rd = A fy/γM0 =	368806.5	daN	Nsd/Nrd =	0.277	< 1
---------------------	----------	-----	-----------	-------	-----

Shear Plastic Resistance

Vpl,rd,x=	135 625	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,x	ρ x=	0.000	Vsd,x / Vpl,rd,x =	0.000	< 1
Vpl,rd,y=	135 625	daN	Vsd,x < 0.5 Vpl,rd,y	ρ y=	0.000	Vsd,y / Vpl,rd,y =	0.056	< 1

Bending Moment Resistance

Mcrd,xx = Wpl,x(1- ρx) fy/γM0	20492.0	daNm	Msd,xx / Mcrd,xx =	0.000	< 1
Mcrd,yy = Wpl,y(1- ρy) fy/γM0	20492.0	daNm	Msd,yy / Mcrd,yy =	0.532	< 1

Axial, Bending Moment and Shear Force Resistance

Nsd/Npl,rd + Msd,xx/Mcrd,xx + Msd,yy/Mcrd,yy =	0.277 + 0 + 0.532			0.809	< 1
--	-------------------	--	--	-------	-----

La verifica risulta essere implicitamente soddisfatta anche per i tubolari degli altri micropali poiché le sollecitazioni agenti risultano essere inferiori.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>99 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	99 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	99 di 104								

15.4.3 Verifiche delle connessioni in testa ai micropali

Si esegue la verifica di connessione della testa pali sul plinto di fondazione. La massima sollecitazione assiale rispetto ai due casi (plinto tipo 1 e plinto tipo 2) analizzati è:

$$N_{\max, \text{cmpr}} = 1155.70 \text{ kN (combinazione 1, plinto tipo A)}$$

$$N_{\max, \text{traz}} = 174.82 \text{ kN (combinazione 5, plinto tipo B)}$$

Verranno assunte queste sollecitazioni per tutti i micropali considerati. Per quanto riguarda le resistenze della connessione della testa rispetto agli sforzi assiali si hanno i seguenti contributi:

- Attrito tubolare-calcestruzzo
- Compressione della testa del cls
- Connessioni meccaniche con spine a taglio sul tubolare

Si calcolano i singoli contributi come segue.

Attrito esterno tubolare-calcestruzzo

Si considera il solo attrito sull'esterno del tubolare come indicato nell'Eurocodice4 (par.4.3.2.7 uni Env 1994-1-1); la massima tensione tangenziale allo SLU per sezioni in acciaio completamente rivestite in cls è pari a $\tau_{\text{lat}} = 0.6 \text{ Mpa}$.

Si ottengono resistenze dipendenti dal tubolare impiegato, e dell'altezza immersa nel plinto (assunta pari a 400mm):

$$R_{\text{attrito } 193.7} = 0.4 \cdot \pi \cdot \Phi \cdot \tau_{\text{lat}} = 243.3 \text{ kN}$$

Compressione di testa del cls

Si considera una resistenza del calcestruzzo a compressione sopra il tubolare pari a $1.5 \cdot \sigma_{c,Rd} = 1.5 \times 14.94 = 22.40 \text{ MPa}$.

$$R_{\text{cls Testa } 193.7} = \pi \cdot \Phi^2 / 4 \cdot 1.5 \cdot \sigma_{c,Rd} = 660 \text{ kN}$$

Connessioni meccaniche con spine a taglio sul tubolare

Sono presenti in testa al tubolare delle spine in acciaio di diametro $\Phi 30$ passanti il tubolare in numero di 4 e di dimensioni totali pari a circa 400 mm (lunghezza in esterno al tubolare pari a circa 100mm per parte). Si calcola la resistenza di ciascuna spina. Esse, in fase di rottura sono soggette alle forze concentrate applicate dal tubolare su di esse, e vincolate dalla presenza del calcestruzzo interno ed esterno al tubolare su cui fanno contrasto. La resistenza si calcola:

$$R_{\text{barre}} = n \cdot \text{spinotti} \cdot \min(\phi \cdot L \cdot 1.5 \cdot \sigma_{c,Rd}, \phi^2 \cdot \pi / 4 \cdot \tau_{s,Rd}) = 4 \cdot \min(30 \cdot 200 \cdot (1.5 \cdot 14.94) / 1000, 30^2 \cdot \pi / 4 \cdot 226 / 1000) = 4 \cdot \min(134.45, 159.66) = 4 \cdot 134.45 = 537.8 \text{ kN}$$

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dirosen</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>100 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	100 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	100 di 104								

Dove ϕ = diametro spinotti; L = lunghezza ancoraggio spintorri-cls; $\sigma_{c,Rd}$ = tensione ammissibile cls; $\tau_{s,Rd}$ = Tensione tangenziali della barra, pari a $f_{yd}/(3)^{1/2}$

Verifica della connessione

In compressione si ricava:

$$R_{TOT, compr} = R_{attrito} + R_{cls\ Testa} + R_{barre} = 146 + 660 + 537.8 = 1343.8 \text{ kN} > N_{max, compr} = 1155.70 \text{ kN.}$$

In trazione si ricava:

$$R_{TOT, compr} = R_{attrito} + R_{barre} = 146 + 537.8 = 686.8 \text{ kN} > N_{max, compr} = 174.80 \text{ kN.}$$

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvia Dirosdon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>101 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	101 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	101 di 104								

15.5 Verifiche plinto

15.5.1 Plinto a 2 micropali (tipo A)

Si calcola di seguito l'armatura del plinto. In questo caso il plinto si comporta come una trave semplicemente appoggiata, sui pali. Le dimensioni assunte per il plinto fanno sì che questo sia trattato come "plinto alto" e quindi il modello di calcolo risulta essere quello composto da bielle compresse inclinate e tiranti orizzontali.

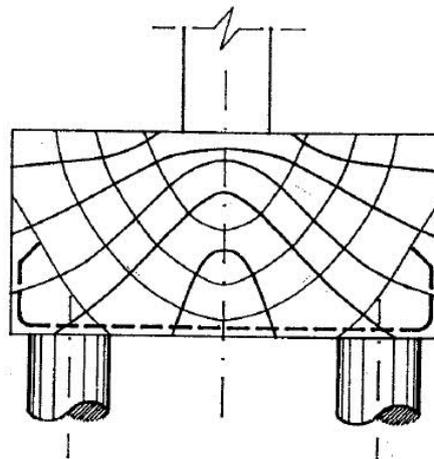


Figura 15.10 Andamento isostatiche in un plinto a due pali

Lo sforzo di trazione nel tirante inferiore si determina sulla base del valore del carico massimo sui micropali, da cui si ottiene:

$$T = R_{\max \text{ pali}} \cdot i / 2h = 1155.70 \cdot 0.8 / (2 \cdot (0.5 - 0.04)) = 1005 \text{ kN}$$

avendo assunto un copriferro $c=0.04$ m, interasse micropali $i=0.8$ m, spessore plinto $H=0.5$ m e reazione massima micropali $R_{\max}=1155.70$ kN.

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p>Impresa Silvio Dierodon consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>102 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	102 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	102 di 104								

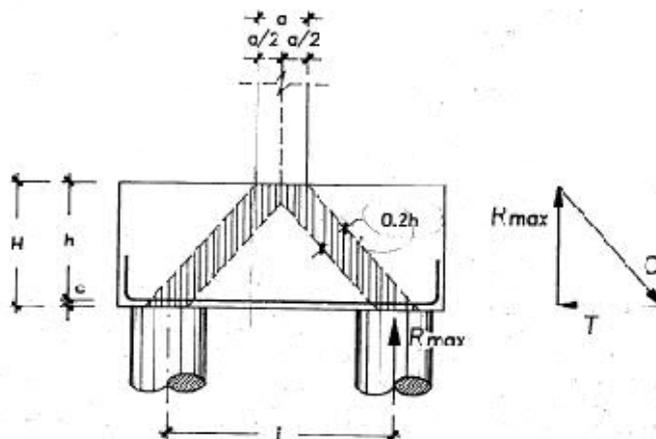


Figura 15.11 Schema per i plinti alti a due pali

Assumendo un acciaio del tipo B450C, l'armatura longitudinale minima inferiore risulta essere pari a $A_a = T/f_{yd} = 2570 \text{ mm}^2$. La verifica a trazione è soddisfatta con l'inserimento di 6+6 barre $\Phi 24$ ($A_s = 2713 \text{ mm}^2 > A_a = 2570 \text{ mm}^2$).

Facendo riferimento a quanto riportato in "Tecniche di progettazione per strutture di edifici in cemento armato" di A. Cinuzzi e S. Gaudiano, le staffe possono essere definite come una percentuale dell'armatura del tirante sopra calcolata; in particolare si assume un valore pari al 40%. In questo modo l'armatura necessaria per le staffe risulta essere pari a 1085 mm^2 che corrisponde a $8\Phi 16$ ($A_t = 1607 \text{ mm}^2$). Secondo le disposizioni, la verifica a taglio viene così soddisfatta.

15.5.2 Plinto a 4 micropali (tipo B)

Si calcola di seguito l'armatura del plinto. In questo caso il plinto si comporta come una trave semplicemente appoggiata, sui micropali. Le dimensioni assunte per il plinto fanno sì che questo sia trattato come "plinto alto" e quindi il modello di calcolo risulta essere quello composto da bielle compresse inclinate e tiranti orizzontali.

<p>IMPRESA</p> <p>QUADRO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>Impresa Silvio Dierdon</p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p> <p>SO GEN</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>103 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	103 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	103 di 104								

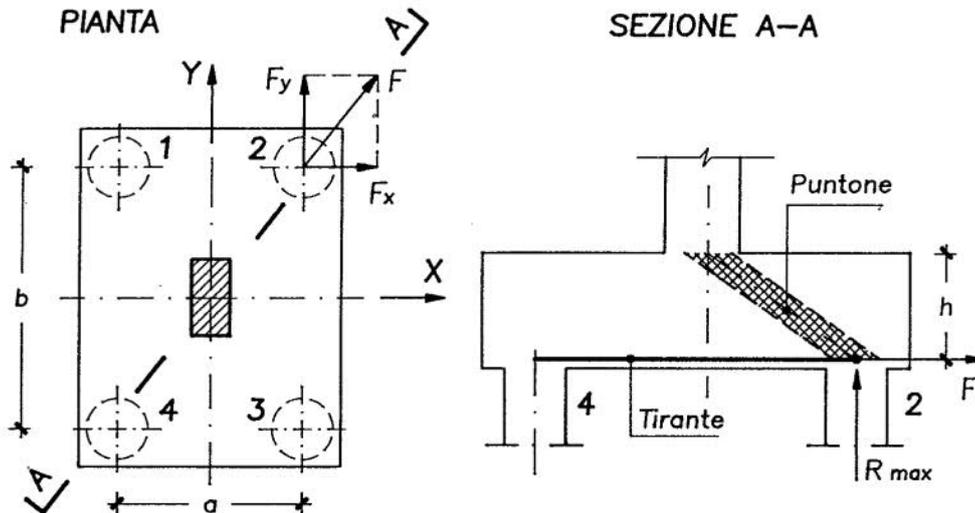


Figura 15.12 Schema per i plinti alti a quattro pali

Per plinti aventi i micropali disposti sui vertici di un rettangolo di lati a e b , si ottiene:
 $F = (R_{max} * (a^2 + b^2)^{0.5}) / 2h = 2786 \text{ kN}$

Sapendo che R_{max} = reazione massima del micropalo, pari a 1119.5 kN (combinazione 1, plinto tipo B)

$a = 0.6 \text{ m}$; $b = 1.25 \text{ m}$, $h = 0.46 \text{ m}$

Scomponendo la forza F lungo le direzioni X e Y si ottiene:

$$F_x = aF / (a^2 + b^2)^{0.5} = a * R_{max} / 2h = 730 \text{ kN}$$

$$F_y = bF / (a^2 + b^2)^{0.5} = b * R_{max} / 2h = 1521 \text{ kN}$$

Il quantitativo di armatura da disporre nei due tiranti risulta essere:

$$A_x = F_x / f_y d = 1867 \text{ mm}^2 ;$$

$$A_y = F_y / f_y d = 3890 \text{ mm}^2$$

La verifica a trazione è soddisfatta con l'inserimento di 5+5 barre $\Phi 24$ ($A_s = 2261 \text{ mm}^2 > A_a = 1867 \text{ mm}^2$) lungo l'asse x e 6+6 barre $\Phi 30$ ($A_s = 4239 \text{ mm}^2 > A_a = 3890 \text{ mm}^2$) lungo l'asse y .

Facendo riferimento a quanto riportato in "Tecniche di progettazione per strutture di edifici in cemento armato" di A. Cinuzzi e S. Gaudiano, l'armatura aggiuntiva da porre al centro del plinto risulta essere una percentuale dell'armatura del tirante sopra calcolata; in particolare si assume un valore pari al 20%. In questo modo l'armatura aggiuntiva risulta essere pari a 848 mm^2 che corrisponde a $3\Phi 20$ ($A_t = 942 \text{ mm}^2$) nella direzione y e pari a 452 mm^2 che corrisponde a $2\Phi 20$ ($A_t = 628 \text{ mm}^2$) lungo la direzione x .

<p>IMPRESE</p> <p>QUADRIO GAETANO COSTRUZIONI S.P.A.</p> <p>PROGETTISTI</p> <p>P.A.T. s.r.l.</p> <p>SO GEN</p> <p><i>Impresa Silvio Dierdon</i></p> <p>consorzio triveneto rocciatori</p>	<p>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</p> <p>SUB-LOTTO FUNZIONALE: FLUIDIFICAZIONE DEL TRAFFICO ED INTERCONNESSIONE CON LA RETE ESISTENTE DEL LOTTO 1 FORTEZZA-PONTE GARDENA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI SOTTOPASSO</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0A</td> <td>00</td> <td>E ZZ CL</td> <td>NV0970001</td> <td>B</td> <td>104 di 104</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	104 di 104
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0A	00	E ZZ CL	NV0970001	B	104 di 104								

16 ALLEGATO: RELAZIONE DI CALCOLO PONTE GUIDO LUCE = 20.40 METRI

Committente:

NATISONE LAVORI s.r.l.

Lavoro:

PONTE GUIDO.
PER IL SOSTEGNO PROVVISORIO DI BINARI FERROVIARI
LUCE DI CALCOLO L = 20,40 ml

Fase:

PROGETTO ESECUTIVO

All. N:

1

Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO

Scala:

Progettazione:

D'ORLANDO E ASSOCIATI S.R.L – SERVIZI D'INGEGNERIA

ing. Paolo Gerussi

ing. Paolo Clemente



Consulenze:

02	05-02-2014	Integrazioni verifica fatica e instabilità fless-tors	G.C.	Clemente	Gerussi
01	20-01-2014	Emissione	G.C.	Clemente	Gerussi
00	30-09-2013	Emissione	G.C.	Clemente	Gerussi
Revisione	Data	Motivazioni	Redatto	Verificato	Approvato

Studio Tecnico D'ORLANDO E ASSOCIATI SRL
Via Carducci, 62/A - 33100 Udine Tel. 0432 21883 Fax 0432 507304
e-mail: info@dorlandoeassociati.it

Materiale riservato di proprietà della Natisone Lavori S.r.l.
Vietata la divulgazione e/o riproduzione anche solo parziale

codice lavoro:

2929

Nome file: copertina:

Z:\Lavori\2929 - NatisoneLavori - ponte GUIDO. 16-18-20 ml\PROGETTO\IESELuce_20,40
ml\copertina\Copia di 2929-cop_calcoli - rev02.doc



D'ORLANDO E ASSOCIATI s.p.a.
SERVIZI DI INGEGNERIA

SISTEMA CON CERTIFICAZIONE ISO 9001:2008

(N. IT06/0046 - RILASCIATA DA SGS ITALIA S.P.A.)

SOMMARIO

1. PREMESSE	2
2. CARATTERISTICHE DEL PONTE GUIDO. DI LUCE 20,40 m	2
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	3
5. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA	4
6. CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO	8
6.1 PESO PROPRIO	8
6.2 CARICHI PERMANENTI.....	8
6.3 COEFFICIENTE DINAMICO RELATIVO ALLE TRAVI PRINCIPALI.....	9
6.4 COEFFICIENTE DINAMICO RELATIVO ALLE TRAVI SECONDARIE	11
6.5 AZIONI VARIABILI.....	13
6.6 AZIONE LATERALE (SERPEGGIO).....	16
6.7 AZIONI CLIMATICHE (VENTO)	16
6.8 AZIONI CLIMATICHE (TEMPERATURA)	18
6.9 AZIONE DI AVVIAMENTO E FRENATURA	18
6.10 AZIONI SISMICHE	19
7. CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI	20
7.1 TRAVE SECONDARIA HEM 240.....	21
7.2 TRAVE PRINCIPALE	22
7.3 TRAVE PRINCIPALE MAGGIORATA	24
8. VERIFICA DELLE TRAVI “PRINCIPALI”:	26
8.1 CARATTERISTICHE STATICHE E INERZIALI DELLE TRAVI PRINCIPALI.....	29
8.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI.....	30
8.3 VERIFICA DELLE TRAVI PRINCIPALI NEI RIGUARDI DELL’INSTABILITA’ FLESSO TORSIONALE.....	31
9. VERIFICA DELLE TRAVI “SECONDARIE”:	38
9.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	40
9.2 VERIFICA DEL COLLEGAMENTO TRAVI “SECONDARIE” – TRAVI “PRINCIPALI”.....	41
10. VERIFICA A FATICA	44
10.1 TRAVI PRINCIPALI.....	46
10.2 TRAVI SECONDARIE	59
11. VERIFICA DELLE SALDATURE	64
12. VERIFICHE AGLI SLE	67
12.1 STATO LIMITE PER LA SICUREZZA DEL TRAFFICO FERROVIARIO	67
12.2 STATO LIMITE PER IL COMFORT DEI PASSEGGERI	69
13. VALIDAZIONE CODICE DI CALCOLO	70
14. AZIONI IN CORRISPONDENZA DEGLI APPOGGI	71
14.1 VERIFICA DEGLI APPOGGI	75
15. STRUTTURE DI FONDAZIONE	77
15.1 VERIFICA CAPACITA’ PORTANTE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI VERTICALI.....	81
15.2 VERIFICA CAPACITA’ PORTANTE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI ORIZZONTALI	82
15.3 CALCOLO CEDIMENTI.....	83

1. PREMESSE

La presente relazione di calcolo si riferisce al dimensionamento statico del ponte ferroviario provvisorio GUIDO., in acciaio, con una **luce tra appoggi di 20,40 m**, mantenendo sostanzialmente inalterate le caratteristiche del *sistema ponte GUIDO.* di luce 14,40 m, come approvato da R.F.I.

Rispetto al ponte GUIDO. approvato si è aumentata l'altezza delle travi principali per aumentarne il momento d'inerzia e di conseguenza diminuire la freccia in campata, limitandola a 1/1000 della luce di calcolo nello Stato Limite di Esercizio per il comfort dei passeggeri.

2. CARATTERISTICHE FONDAMENTALI DEL PONTE GUIDO. DI LUCE 20,40 m

Si tratta di un ponte ferroviario provvisorio, in acciaio, con luce di calcolo di 20,40 m, costituito da due travi longitudinali "principali" e, ortogonali a queste, da travi "secondarie" poste ad interasse di 60 cm che sostengono le rotaie. Le travi principali sono costituite da un'ala inferiore realizzata con due piatti (l'inferiore di 300×80 mm e il superiore di 490×40 mm), da un'anima costituita da tronchetti ad asse verticale di HEM 280 lunghi 340 mm posti ad interasse di 60 cm, da una HEM 260 longitudinale e da un'ala superiore costituita da due piatti di 300×100 mm e 200×50 mm.

Per contrastare l'imbozzamento dell'anima della HEM 260 longitudinale, la stessa è irrigidita da piatti saldati trasversali di spessore 15 mm posti ad interasse di 300 mm.

Le travi secondarie sono costituite da HEM 240; le stesse vengono posizionate nei fori creati tra i tronchetti di HEM 280 e bloccate tramite 4 bulloni M22 a ciascuna estremità.

Alla trave principale composta come sopra descritto sono stati aggiunti inferiormente, a partire da 1,80 m dagli appoggi, un piatto verticale di dimensioni 180×20 mm e un piatto orizzontale di dimensioni 450×120 mm; si prevede inoltre di irrigidire il piatto verticale con piatti saldati trasversali di spessore 15 mm posti ad interasse di 300 mm.

La tipologia dell'unione "ad incastro" tra trave principale e travi secondarie, realizzata con 4 bulloni M 22, conferisce un alto grado di iperstaticità all'intera struttura e, di conseguenza, anche una notevole rigidità nel piano orizzontale che ha consentito di omettere il ricorso a controventi di piano.

Si prevede l'adozione di appoggi in elastomero armato tipo "FIP Elastofip DIELETTRICO".-

Le verifiche di seguito riportate, riferite in particolare alle nuove specifiche RFI "SPECIFICA PER LA PROGETTAZIONE E L'ESECUZIONE DEI PONTI FERROVIARI E DI ALTRE OPERE MINORI SOTTO BINARIO" emanate in data 21-12-2011, si riferiscono alle sole travi principali, agli appoggi e alle travi secondarie; il sistema di attacco tra rotaie e travi secondarie rimane inalterato rispetto a quello del ponte GUI.DO. da 14,40 m già approvato da R.F.I.

Le strutture vengono calcolate come ponte ferroviario per linee di categoria D4.

Alla presente relazione sono allegate le tavole di progetto, alle quali si rimanda per una descrizione più completa e dettagliata delle opere previste.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La normativa a cui si è fatto riferimento per il dimensionamento delle strutture é:

- **Specifica 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

- **Specifica RFI DTC INC CS SP IFS 001 A**

Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie

- **D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e Circolare 02 febbraio 2009**

Nuove norme tecniche per le costruzioni

- **Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 003 A**

Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari

- **Specifica Tecnica Divisione Infrastruttura - Istruzione 44 S**

Saldatura ad arco di strutture destinate ai ponti ferroviari

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- **ACCIAIO LAMINATO**

Tipo S355J2 in base alla UNI EN 10025 – 1 e 2 (ex Fe 510 D1 in base alla UNI EN 10025-90)

Tensione di rottura (spessore ≤ 40 mm): $f_{tk} = 510$ N/mm²

Tensione di rottura (spessore > 40 mm): $f_{tk} = 470$ N/mm²

Tensione di snervamento (spessore ≤ 40 mm): $f_{yk} = 355$ N/mm²

Tensione di snervamento (spessore > 40 mm): $f_{yk} = 335$ N/mm²

$E = 210.000$ N/mm²

- **GIUNZIONI BULLONATE**

La bulloneria dovrà fare riferimento alle seguenti norme:

Viti: EN 14399-4

Dadi: EN 14399-4

Rosette: EN 14399-6

Tutti i bulloni saranno ad alta resistenza con:

Vite: 8.8 (unioni a taglio) e 10.9 (unioni ad attrito) UNI EN ISO 898-1

Dado: classe 8 (unioni a taglio) e 10 (unioni ad attrito) UNI EN ISO 20898-2

- Tutti i collegamenti bullonati del presente progetto rispettano le distanze dai margini e gli interassi dei fori così come definite dalla norma D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e Circolare 02 febbraio 2009

- **GIUNZIONI SALDATE**

Per i metodi di calcolo e di verifica si fa riferimento alle indicazioni contenute nel D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e Circolare 2 febbraio 2009 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Per quanto riguarda le prescrizioni concernenti il dimensionamento dei singoli giunti, i campi ed i limiti di impiego delle varie tipologie, i criteri di preparazione dei lembi di esecuzione e controllo delle saldature, si fa riferimento alla Specifica Tecnica Divisione Infrastruttura - Istruzione 44 S “Saldatura ad arco di strutture destinate ai ponti ferroviari” oltre al DM 14.1.2008

5. MODELLAZIONE DELLA STRUTTURA

Lo studio del comportamento della struttura e la determinazione degli sforzi agenti sulle membrature costituenti le travi principali è stato condotto mediante un modello tridimensionale ad elementi finiti, di seguito descritto. Il calcolo è stato condotto con il codice di calcolo Midas Gen.

Le travi longitudinali principali e le travi secondarie sono state modellate con elementi trave (beam).

Al di sopra delle travi secondarie sono state modellate tramite elementi beam a sezione poligonale anche le rotaie, in modo da ottenere, caricando le stesse con i carichi mobili ferroviari, una distribuzione quanto più fedele possibile delle sollecitazioni.

La connessione tra rotaie e travi secondarie così come quella tra travi secondarie e travi principali è stato modellato con elementi rigidi.

I vincoli “esterni” alle estremità delle travi principali sono stati modellati con elementi elastici con rigidezza verticale ed orizzontale pari a quella degli appoggi in elastomero armato che si intende

utilizzare: più in dettaglio, supponendo di utilizzare appoggi Elastofip della serie EF 122-11, la rigidezza verticale è pari a 449 kN/mm, mentre quella orizzontale è pari a 2,80 kN/mm.

Gli effetti di interazione statica treno – binario – struttura (cap. 1.4.5.3 della Specifica RFI : *Metodologia di valutazione degli effetti di interazione*) sono stati tenuti in conto modellando le rotaie per un tratto di 60 m oltre le estremità del ponte, e ponendo lungo le stesse, ad interasse di 60 cm, delle molle non lineari che simulano l'interazione rotaia-ballast secondo la legge seguente:

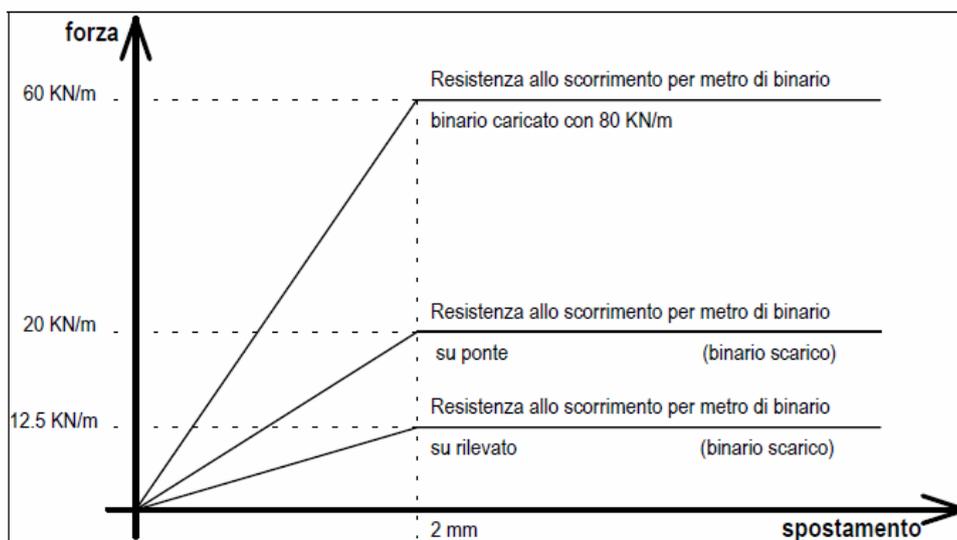


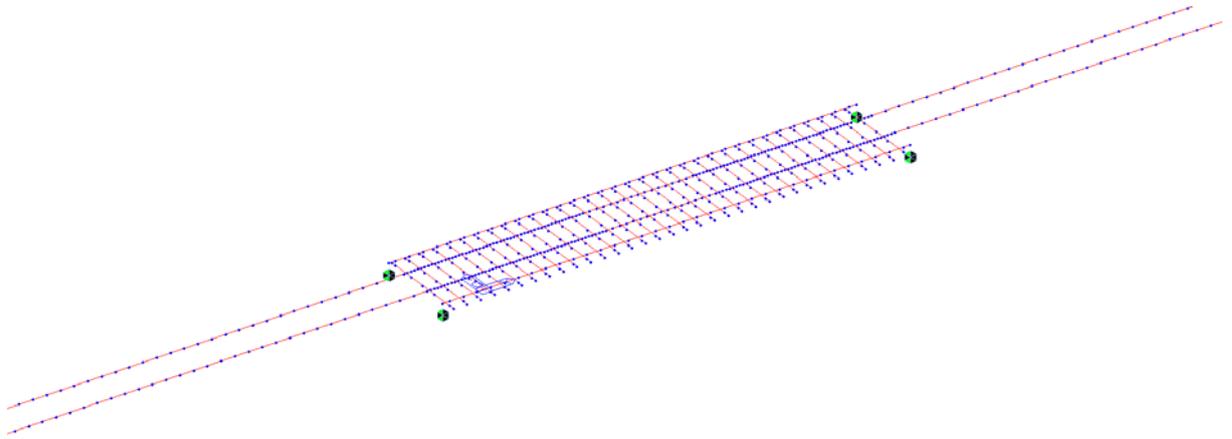
Fig. 1.4.5.3-5. Legame forza-spostamento del ballast in direzione longitudinale.

Trattandosi di molle posizionate in corrispondenza della singola rotaia ad interasse di 60 cm, il punto di passaggio tra comportamento elastico e comportamento plastico (spostamento 2 mm) corrisponde ad una rigidezza pari a:

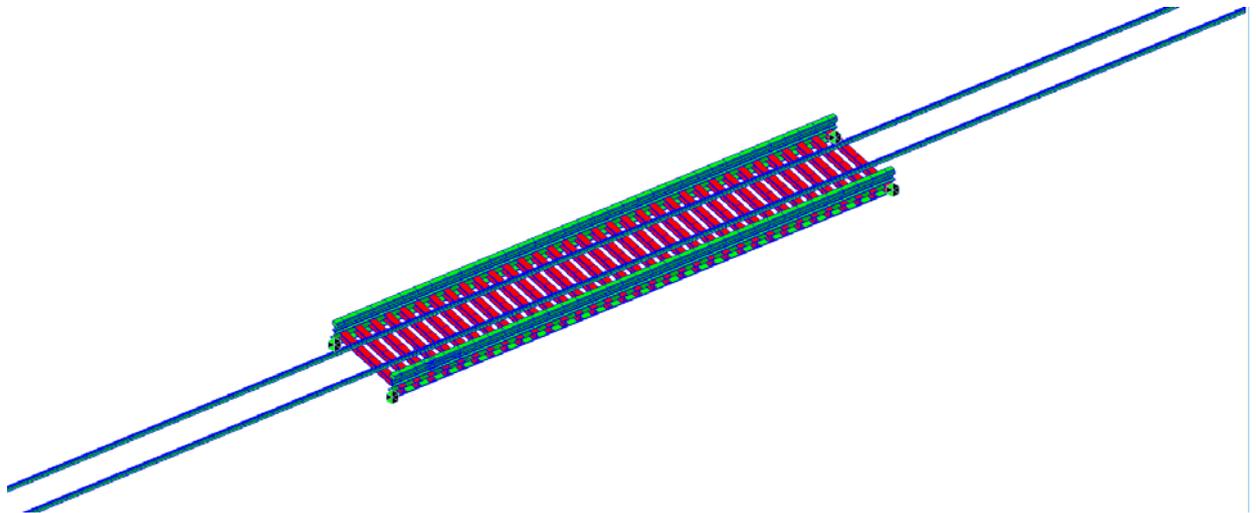
$$12,5 / 2 \times 0,6 = 3,75 \text{ kN} / 60 \text{ cm}$$

Alle pagine seguenti si riportano alcune immagini d'insieme della mesh di calcolo ad elementi finiti.

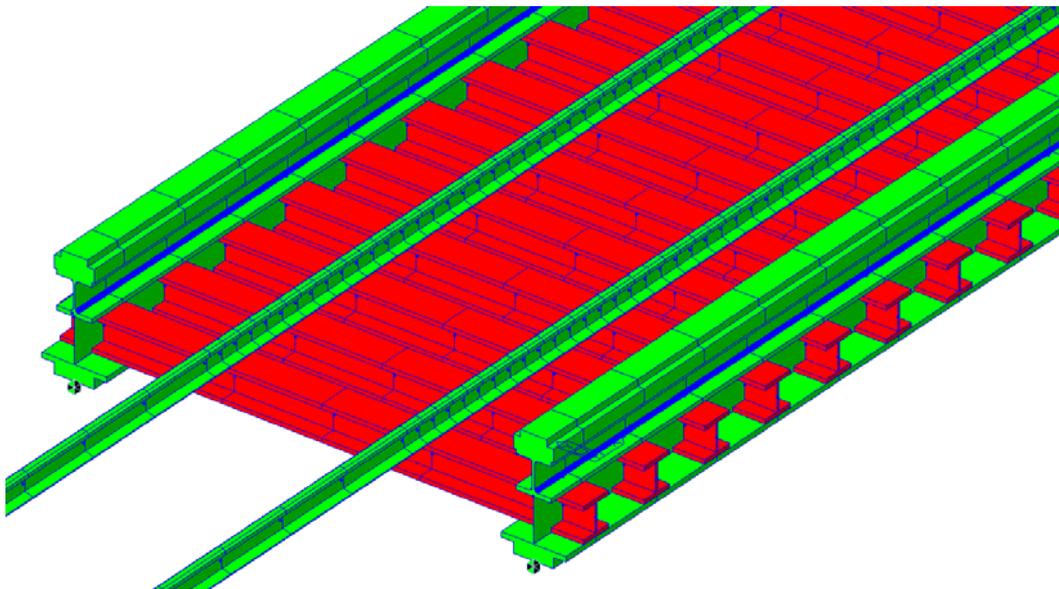
Modello a elementi finiti della struttura



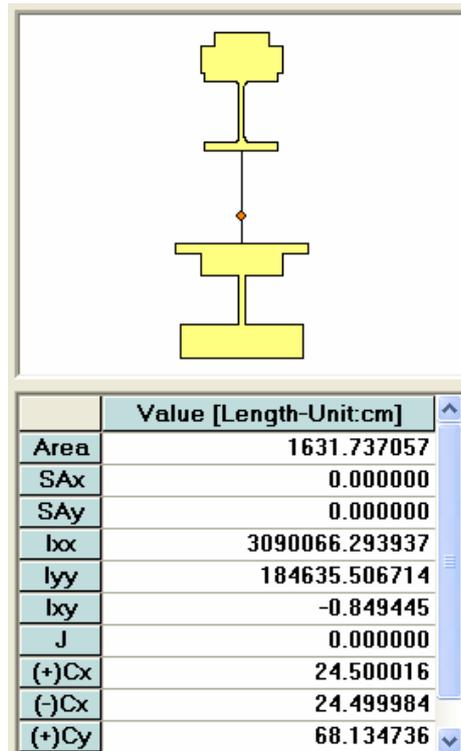
Rendering del modello a elementi finiti della struttura



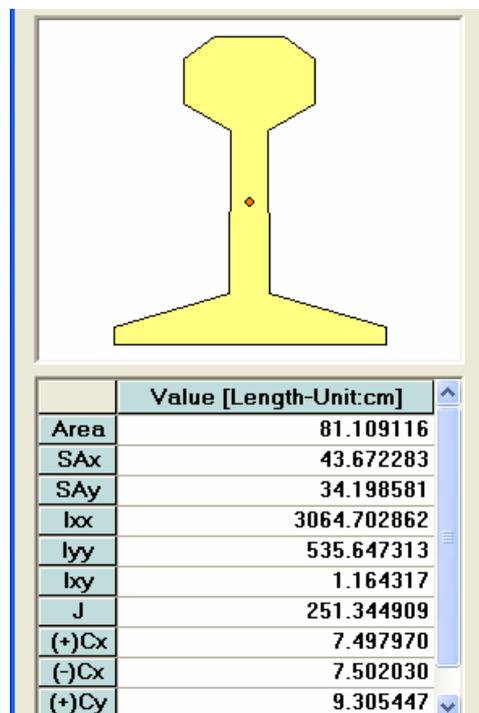
Dettaglio dell'estremità del ponte

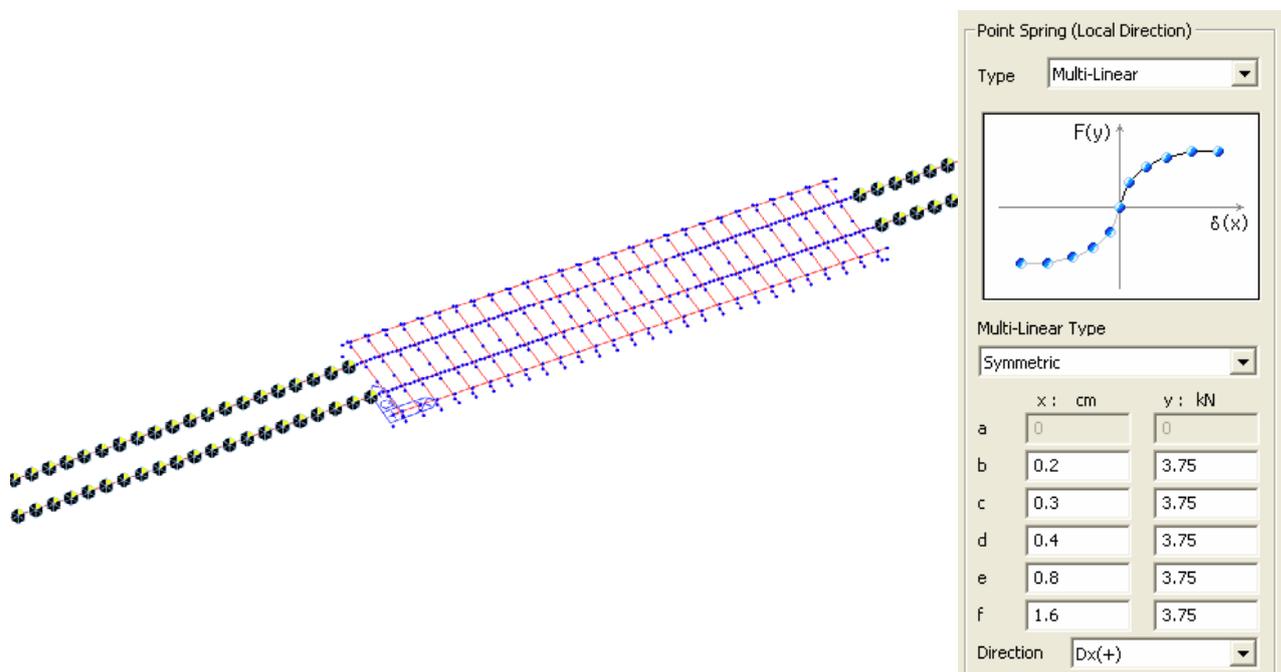


Modellazione delle travi principali



Modellazione delle rotaie



Molle elastoplastiche lungo le rotaie per la simulazione dell'interazione binario-ballast

6. CONDIZIONI ELEMENTARI DI CARICO

6.1 PESO PROPRIO

Nel considerare il peso proprio delle strutture in acciaio si considera una maggiorazione del 10% del peso di volume, per tener conto di verniciatura, saldature, fazzoletti, bullonature ecc.

Si considera quindi un peso di volume pari a:

$$7850 + 10\% = 8635 \text{ kg/m}^3$$

6.2 CARICHI PERMANENTI

Peso singola rotaia 60 kg/m

Peso attacchi rotaia - traversina: 20 kg/cad.

Interasse attacchi rotaia – traversina 0,6 m

Carico uniformemente distribuito: $20/0,6 = 33 \text{ kg/m}$

Peso traversina in c.a. 260 kg

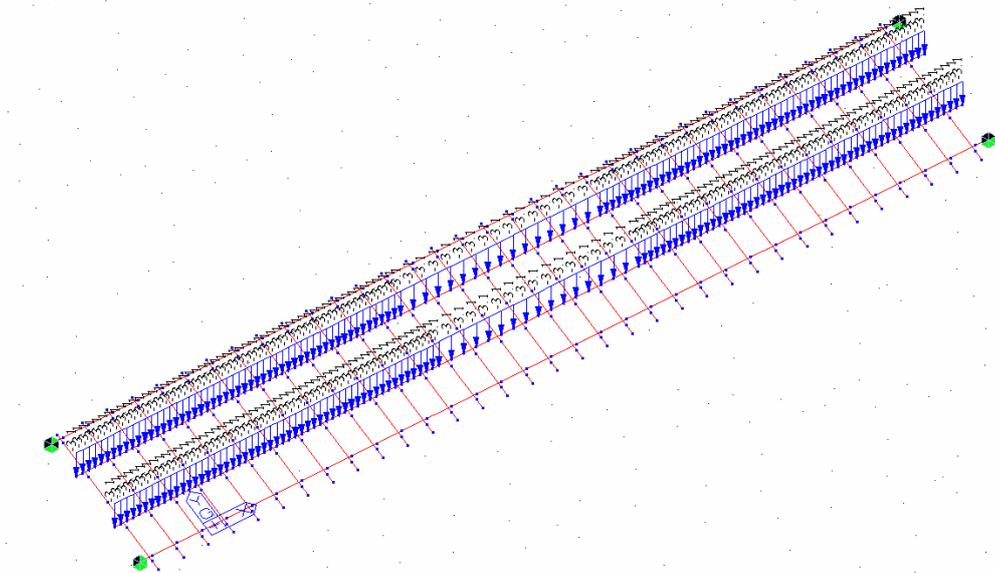
Interasse traversine in c.a. 0,6 m

Carico uniformemente distribuito (di pertinenza della singola rotaia): $260/(0,6 \times 2) = 217 \text{ kg/m}$

Carico permanente (di pertinenza della singola rotaia):

$$60 + 33 + 217 = 310 \text{ kg/m}$$

visualizzazione dei carichi permanenti



6.3 COEFFICIENTE DINAMICO RELATIVO ALLE TRAVI PRINCIPALI

I coefficienti dinamici relativi ai carichi reali sono definiti al punto 1.4.2.5.2 della Specifica 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”.

Considerando una linea con normale standard manutentivo il coefficiente dinamico “reale” vale:

$$\varphi_{reale} = 1 + \varphi' + \varphi'' \quad \text{per linee con ridotto standard manutentivo}$$

ove:

$$\varphi' = \frac{K}{1 - K + K^4} \quad \text{con} \quad K = \frac{v}{2L \cdot n_o}$$

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[56 \cdot e^{-\left(\frac{L\phi}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left(\frac{n_o L_\phi}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L\phi}{20}\right)^2} \right]$$

$$\text{se } v \leq 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = \frac{v}{22} ; \quad \text{se } v > 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = 1$$

dove:

v = Velocità [m/s];

n_o = prima frequenza flessionale del ponte in [Hz];

Lϕ = lunghezza caratteristica specificata in tabella 1.4.2.3 [m];

α = coefficiente funzione della velocità del convoglio.

Nel nostro caso si ha:

- luce di calcolo delle travi principali di 20,40 m (la lunghezza “caratteristica” in metri L_ϕ che, nel caso di travi semplicemente appoggiate è pari alla luce nella direzione delle travi vale quindi 20,40 m)
- velocità di percorrenza dei convogli di 80 km/h
- La prima frequenza flessionale del ponte si può ricavare direttamente dal modello di calcolo effettuando una analisi dinamica lineare; il risultato che si ottiene è il seguente:

EIGENVALUE ANALYSIS				
Mode No	Frequency		Period	Tolerance
	(rad/sec)	(cycle/sec)	(sec)	
1	39.805034	6.335168	0.157849	4.2535e-013

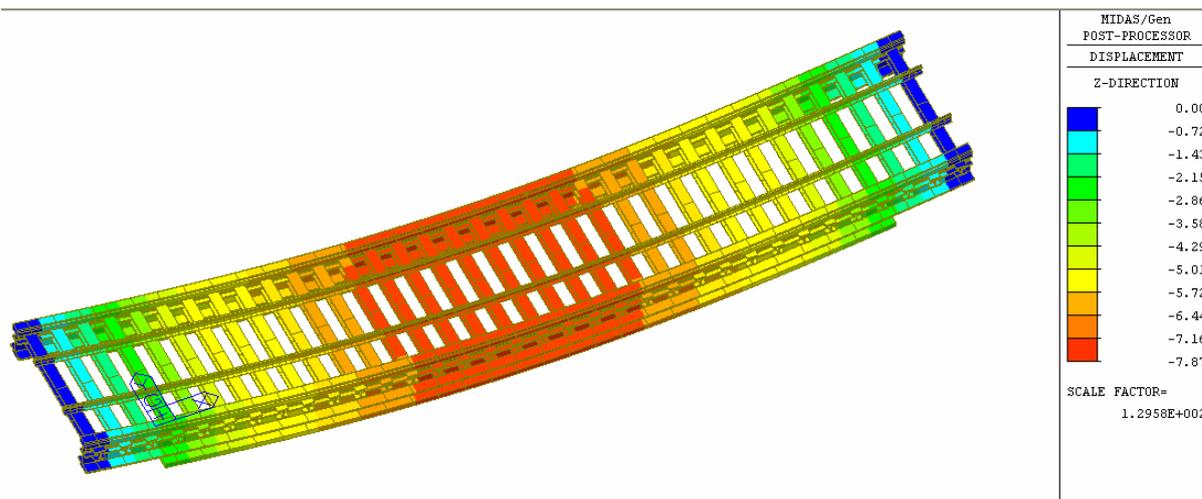
Si ottiene una frequenza di 6,33 Hz

Per una trave semplicemente appoggiata, sottoposta a flessione, può valutarsi anche con la formula:

$$n_0 = 17,75 / \sqrt{\delta_0} \quad [\text{Hz}]$$

dove δ_0 rappresenta la freccia, espressa in mm, valutata in mezzeria e dovuta alle azioni permanenti.

Nel nostro caso la freccia in mezzeria dovuta alle azioni permanenti vale:



$$\delta_0 = 7,87 \text{ mm}$$

per cui $n_0 = 17,75 / \sqrt{7,87} = 6,327 \text{ Hz}$ (praticamente coincidente con quello ottenuto dall'analisi dinamica)

Il coefficiente dinamico “reale” vale quindi:

L luce	20,4 [m]
v velocità	22,22 [m/s]
δ_0	7,87 [mm]
$n_0 = 17,75/(\delta_0)^{0,5}$	6,33 [Hz]
	0,086
$\varphi' = K/(1-K+K^4)$	0,094
$\varphi'' = \alpha/100[56e^{-(L/10)^2} + 50 \cdot (n_0 \cdot L/80 - 1)e^{-(L/20)^2}] =$	0,117
$\alpha =$	1,01 se $v \leq 22$ m/s 1 se $v > 22$ m/s
$\varphi = 1 + \varphi' + \varphi''$	1,21

In base al punto 1.4.2.5.2 della Specifica 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”, trattandosi di ponte metallico con armamento diretto, viene considerato un ulteriore coefficiente di adattamento dell’incremento dinamico, β , che per luce del ponte maggiore di 8 m e minore di 90 m vale 1,1.

Il coefficiente dinamico complessivo vale quindi:

$$1,21 \times 1,1 = 1,33$$

6.4 COEFFICIENTE DINAMICO RELATIVO ALLE TRAVI SECONDARIE

I coefficienti dinamici relativi ai carichi reali sono definiti al punto 1.4.2.5.2 della Specifica 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”.

Considerando una linea con normale standard manutentivo il coefficiente dinamico “reale” vale:

$$\varphi_{\text{reale}} = 1 + \varphi' + \varphi'' \quad \text{per linee con ridotto standard manutentivo}$$

ove:

$$\varphi' = \frac{K}{1-K+K^4} \quad \text{con} \quad K = \frac{v}{2L \cdot n_0}$$

$$\varphi'' = \frac{\alpha}{100} \left[56 \cdot e^{-\left(\frac{L_\phi}{10}\right)^2} + 50 \cdot \left(\frac{n_0 L_\phi}{80} - 1 \right) e^{-\left(\frac{L_\phi}{20}\right)^2} \right]$$

$$\text{se } v \leq 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = \frac{v}{22} ; \quad \text{se } v > 22 \text{ m/s} \Rightarrow \alpha = 1$$

dove:

v = Velocità [m/s];

n_0 = prima frequenza flessionale del ponte in [Hz];

L_ϕ = lunghezza caratteristica specificata in tabella 1.4.2.3 [m];

α = coefficiente funzione della velocità del convoglio.

Il calcolo di φ_{reale} viene di seguito condotto sia per il limite superiore che per quello inferiore di n_0 (ricavati dalla figura 1.4.2.4-2 in funzione di L_{Φ}) e viene assunto il valore più sfavorevole.

Il limite superiore di n_0 è caratterizzato da:

$$n_0 = 94,76L^{-0,748} \quad (1.4.2.4.1)$$

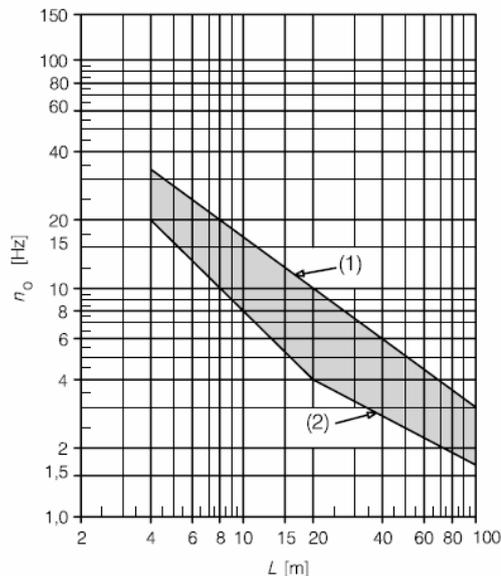
ed il limite inferiore è dato da:

$$n_0 = 80/L \quad \text{per } 4\text{m} \leq L \leq 20\text{m}$$

$$n_0 = 23,58L^{-0,592} \quad \text{per } 20\text{m} < L \leq 100\text{m} \quad (1.4.2.4.2)$$

dove:

- n_0 è la prima frequenza naturale flessionale del ponte
- L è la luce della campata per ponti in semplice appoggio oppure L_{Φ} per ponti continui.



(1) Limite superiore della frequenza naturale
(2) Limite inferiore della frequenza naturale

Fig. 1.4.2.4-2 – Limiti della frequenza naturale del ponte n_0 [Hz] in funzione di L [m]

Nel nostro caso si ha:

- luce di calcolo delle travi secondarie di 3,64 m
- velocità di percorrenza dei convogli di 80 km/h

Il coefficiente dinamico “reale” vale quindi:

L luce	3,64 [m]
v velocità	22,22 [m/s]

$$n_{0\text{sup}} = 94,76 \cdot L^{-0,748} \quad 36,05 \quad \text{SUP}$$

$$n_{0\text{inf}} = 80/L \quad 21,98 \quad \text{INF}$$

$$K = v / (2 \cdot L \cdot n_0) \quad \begin{matrix} 0,08 & \text{SUP} \\ 0,14 & \text{INF} \end{matrix}$$

$$\varphi' = K / (1 - K + K^4) \quad \begin{matrix} 0,09 & \text{SUP} \\ 0,16 & \text{INF} \end{matrix}$$

$$\varphi'' = \alpha / 100 [56e^{-(L/10)^2} + 50 \cdot (n_0 \cdot L / 80 - 1) e^{-(L/20)^2}] = \quad \begin{matrix} 0,80 & \text{SUP} \\ 0,49 & \text{INF} \end{matrix}$$

$$\alpha = \quad \begin{matrix} 1,01 & \text{se } v \leq 22\text{m/s} \\ 1 & \text{se } v > 22\text{m/s} \end{matrix}$$

$$\varphi = 1 + \varphi' + \varphi'' \quad \begin{matrix} \text{background-color: #ffff00; } 1,89 & \text{Sup} \\ 1,65 & \text{Inf} \end{matrix}$$

In base al punto 1.4.2.5.2 della Specifica 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”, trattandosi di ponte metallico con armamento diretto, viene considerato un ulteriore coefficiente di adattamento dell’incremento dinamico, β , che per luce del ponte inferiore a 8 m assume però valore unitario. Il coefficiente dinamico complessivo vale quindi 1,89.

6.5 AZIONI VARIABILI

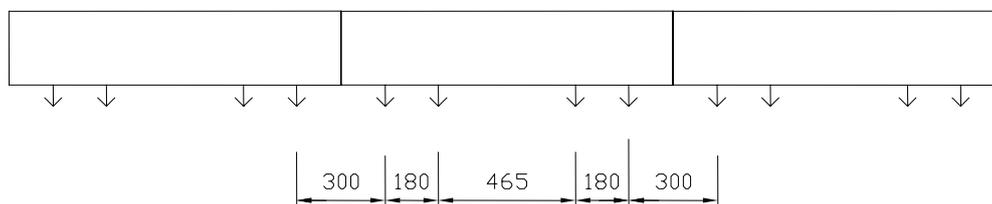
CARRI DI CATEGORIA D4

Considerando la singola rotaia si considerano carichi concentrati di $22500 / 2 = 11250$ kg che, incrementati del coefficiente dinamico, sono pari a:

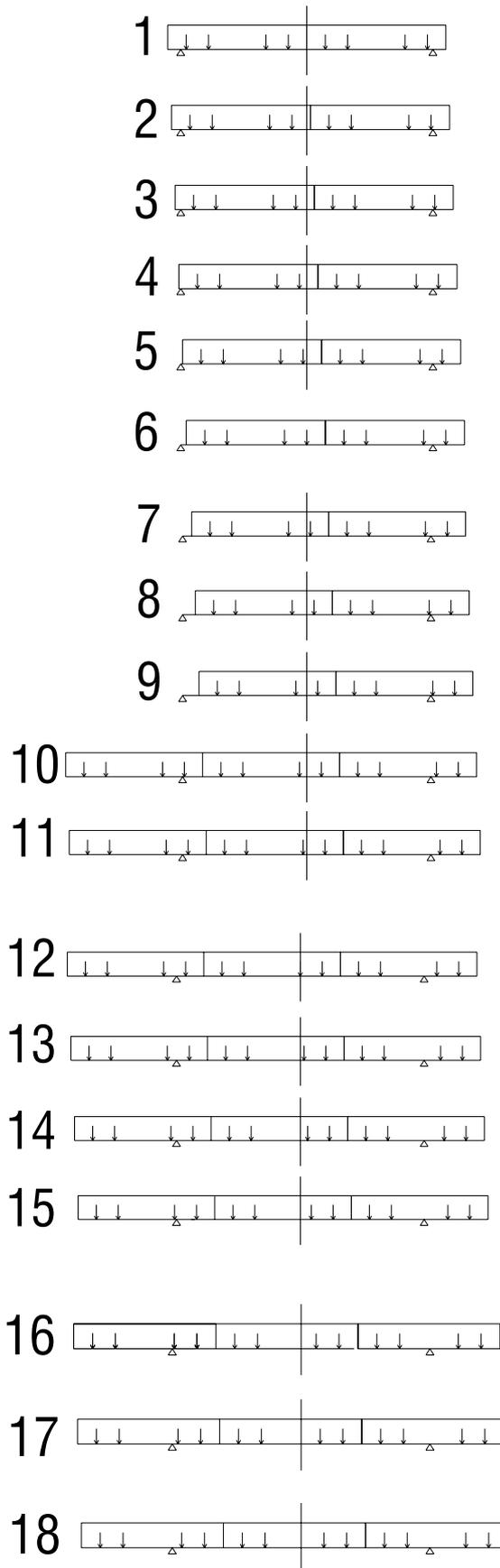
$$11250 \times 1,33 = \mathbf{14963 \text{ kg}}$$

(Per la verifica delle travi secondarie, essendo diverso il coefficiente dinamico riferito alle stesse, si considerano carichi concentrati pari a: $11250 \times 1,89 = 21263$ kg)

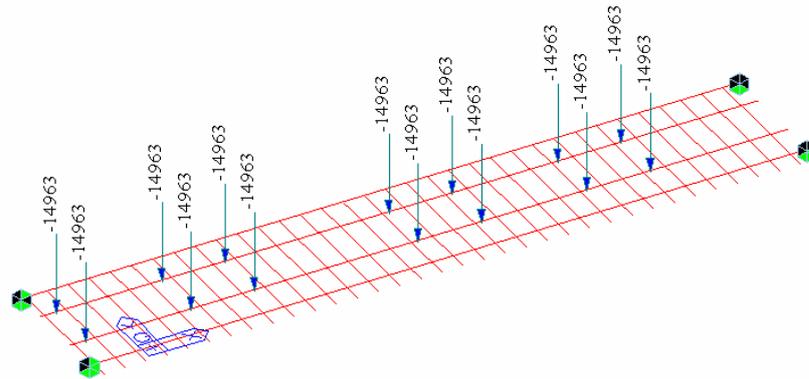
La distanza tra gli assi del singolo “carro” sono le seguenti:



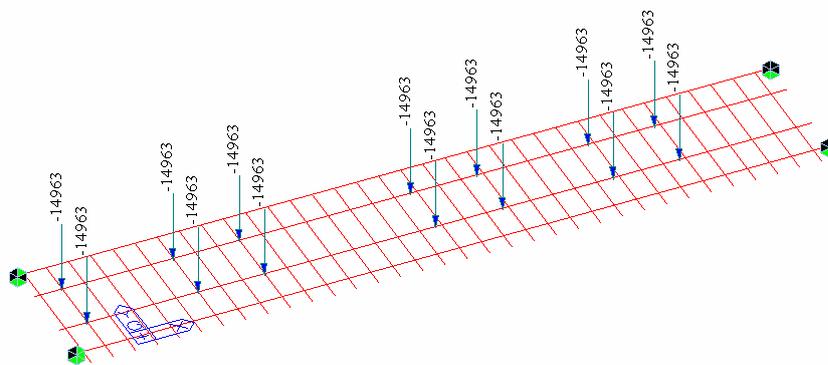
Sono state analizzate 18 configurazioni di carico, con i carichi concentrati spostati per “step” di 30 cm, in modo tale da essere certi di massimizzare le sollecitazioni flettenti e quelle taglianti. Di seguito si riportano gli schemi considerati.



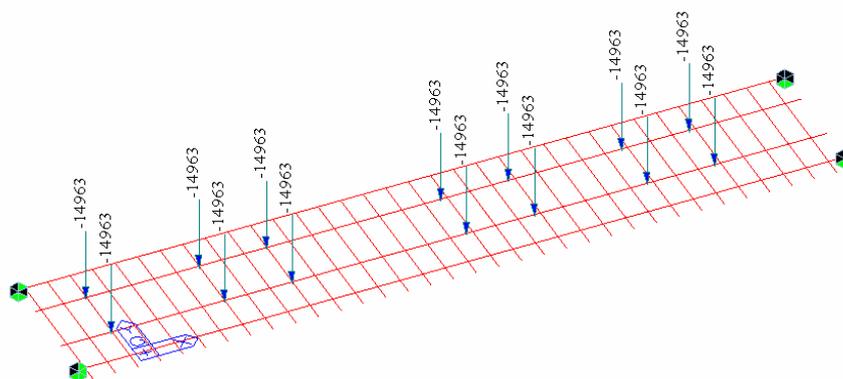
Disposizione 13 dei carichi mobili (massima deformazione al centro)



Disposizione 14 dei carichi mobili (massimo momento flettente nelle travi principali)



Disposizione 16 dei carichi mobili (massimo taglio nelle travi principali)



6.6 AZIONE LATERALE (SERPEGGIO)

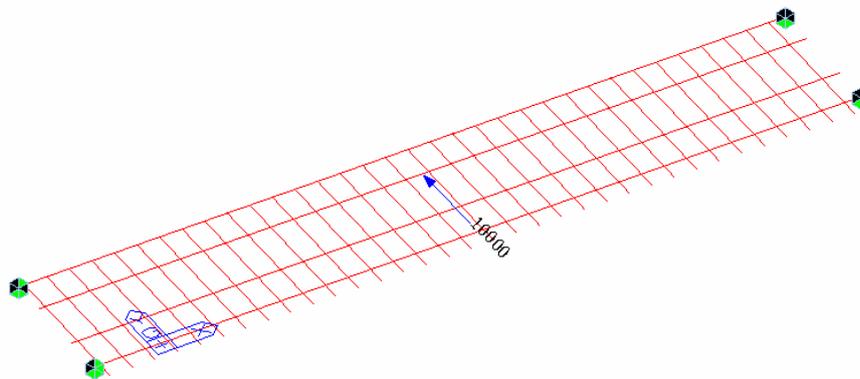
La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, agente alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario.

Il valore caratteristico di tale forza è assunto pari a

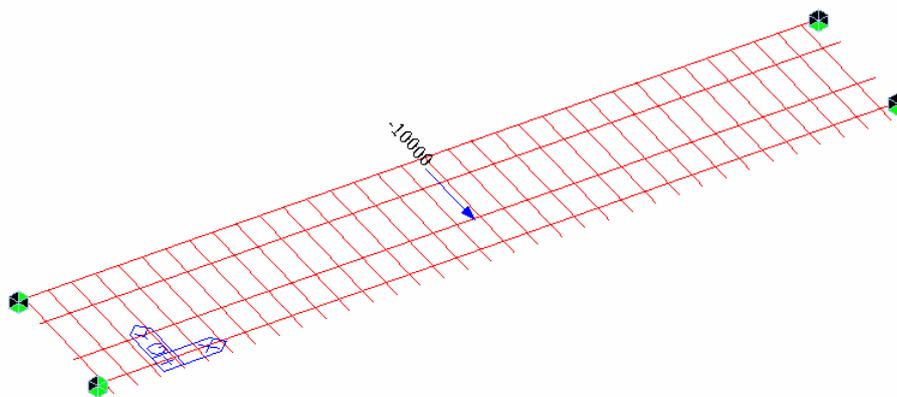
$$Q_{sk} = 10000 \text{ kg}$$

La forza orizzontale viene applicata nel modello di calcolo ad un nodo in mezziera dell'elemento "rotaia".

visualizzazione forze concentrate dovute all'azione di serpeggio – direzione Y+



visualizzazione forze concentrate dovute all'azione di serpeggio – direzione Y-



6.7 AZIONI CLIMATICHE (VENTO)

L'azione del vento viene assunta convenzionalmente come una pressione statica con valore caratteristico F_{wk} pari a 250 kg/m^2 .

Tale pressione agisce sulla superficie esposta della struttura e, in caso di presenza del treno, si considererà agire su una fascia convenzionalmente alta 4 m dal piano del ferro.

La pressione orizzontale viene applicata nel modello di calcolo agli elementi "beam" che modellano la trave principale (per una altezza di 0,95 m), mentre per quanto riguarda la superficie del treno

investita dal vento (per una altezza di 3,66 m, pari a quella rimanente oltre l'altezza della trave principale) si ha:

$$F = 250 \times 3,66 = 915 \text{ kg/m}$$

Poiché la retta d'azione della forza orizzontale è disassata rispetto alla sommità delle rotaie, la forza orizzontale induce una coppia di forze verticali sulle rotaie pari a:

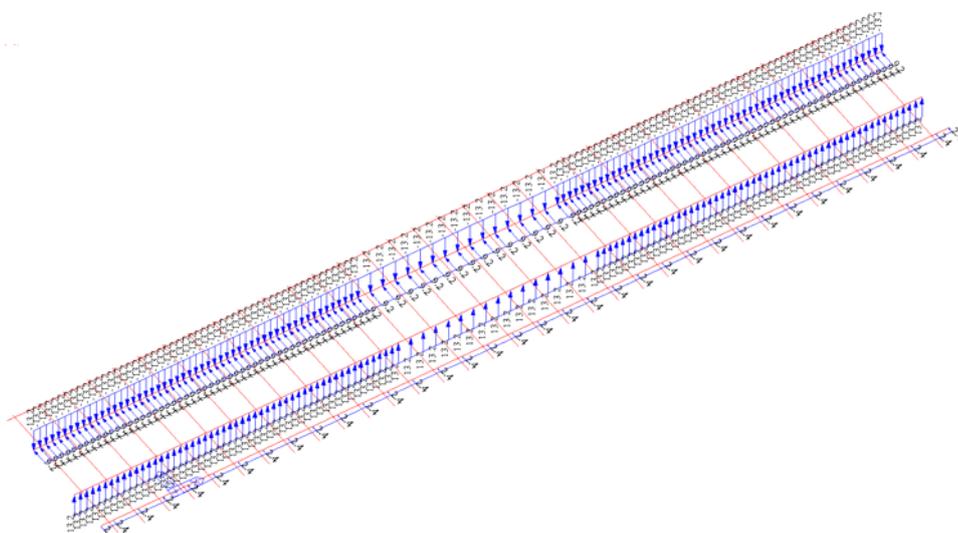
$$\text{braccio forza orizzontale} - \text{sommità rotaie: } 2,17 \text{ m}$$

$$\text{interasse rotaie: } 1,50 \text{ m}$$

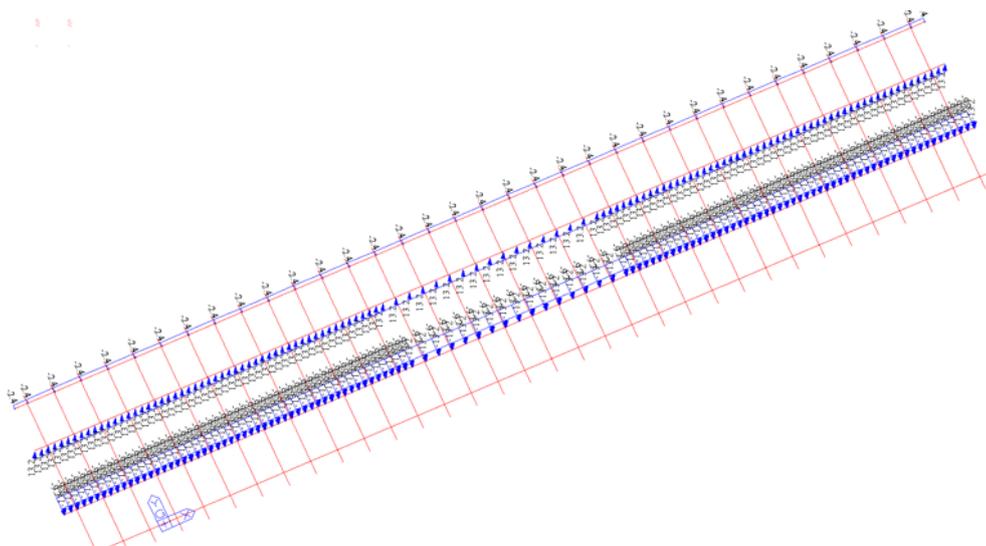
$$M = 915 \times 2,17 = 1986 \text{ kgm}$$

$$V = 1986 / 1,50 = 1324 \text{ kg/m}$$

visualizzazione carico distribuito vento direzione Y+



visualizzazione carico distribuito vento direzione Y-



6.8 AZIONI CLIMATICHE (TEMPERATURA)

La variazione termica uniforme considerata è pari a:

$$\Delta T = \pm 25^{\circ}\text{C}$$

(situazione “Impalcato con strutture in acciaio ed armamento diretto” del paragrafo 1.4.4.1.1 della “Specificazione per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario”)

Per la verifica degli apparecchi di appoggio la variazione termica va incrementata del 50% , ottenendosi quindi:

$$\Delta T = \pm 37,5^{\circ}\text{C}$$

6.9 AZIONE DI AVVIAMENTO E FRENATURA

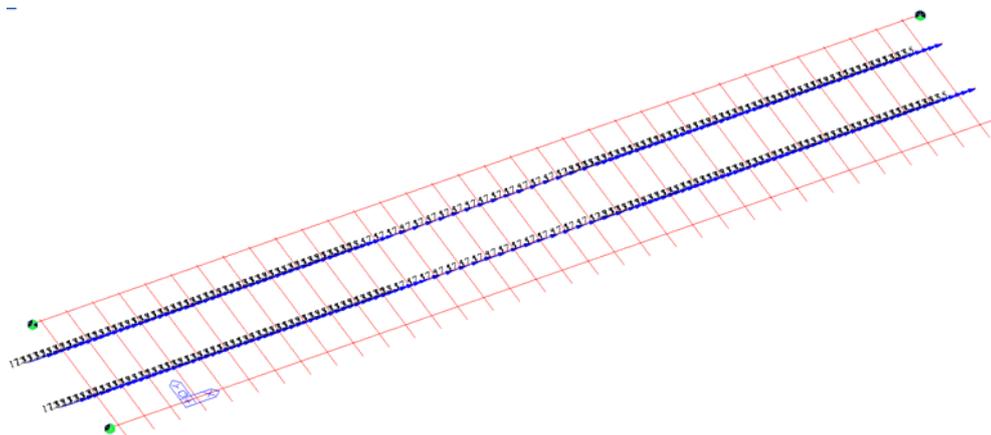
Le forze di avviamento e frenatura agiscono sulla sommità del binario, uniformemente distribuite nella direzione longitudinale dello stesso.

Il valore caratteristico utilizzato nel modello di calcolo è:

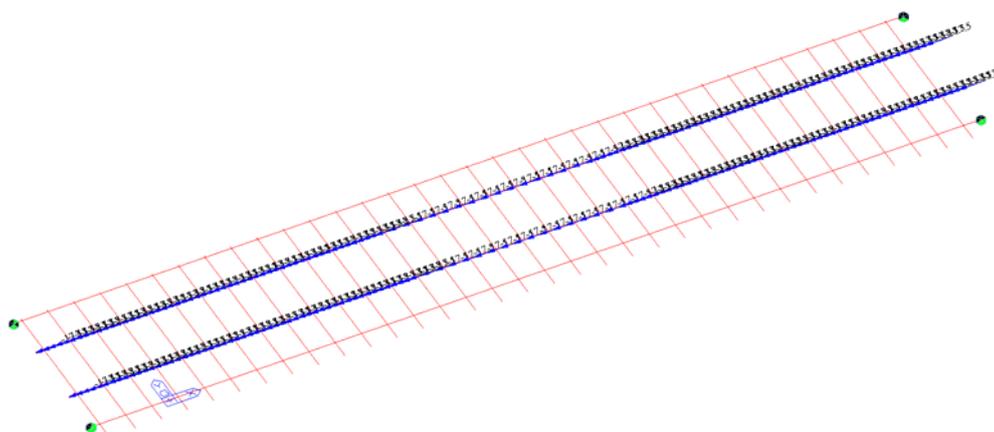
Frenatura SW2: 3500 kg/m

Distribuiti sulla singola rotaia: $3500 / 2 = 1750$ kg/m

visualizzazione carico frenatura direzione +X



visualizzazione carico frenatura direzione -X



6.10 AZIONI SISMICHE

Trattandosi di un ponte provvisorio, le verifiche sismiche non vengono effettuate in base a quanto riportato al paragrafo 2.4.1 (“Vita nominale”) del DM 14.01.2008 che riporta testualmente:

“Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni”.

Si vuole evidenziare, in ogni caso, che la combinazione sismica delle azioni, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all’azione sismica E è la seguente:

$$E + G_1 + G_2 + \sum \psi_{2j} Q_{kj}$$

con gli effetti dell’azione sismica che devono essere valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum \psi_{2j} Q_{kj}$$

e assumendo per i carichi dovuti al transito dei convogli $\psi_{2j} = 0,2$, per l’azione del vento $\psi_{2j} = 0$, per le azioni termiche $\psi_{2j} = 0$.

Da ciò si può facilmente desumere, quindi, che in ogni caso le azioni di progetto in fase sismica sono molto inferiori a quelle che sono state considerate nella combinazione fondamentale impiegata per gli stati limite ultimi nei confronti dei carichi accidentali.

7. CLASSIFICAZIONE DELLE SEZIONI

Di seguito si riporta la classificazione delle sezioni principali che costituiscono la struttura. La classificazione viene eseguita secondo il par. 4.2.3.1 che classifica le sezioni degli elementi strutturali in base alla loro capacità rotazionale. Le sezioni di classe 1 e 2 si definiscono compatte, quelle di classe 3 moderatamente snelle e quelle di classe 4 snelle. Per i casi più comuni delle forme delle sezioni e delle modalità di sollecitazione, le seguenti Tab. 4.2.I, 4.2.II e 4.2.III forniscono indicazioni per la classificazione delle sezioni. La classe di una sezione composta corrisponde al valore di classe più alto tra quelli dei suoi elementi componenti, secondo le disposizioni fornite dalle seguenti tabelle:

Tabella 4.2.I - Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

		Parti interne compresse				
		Inflessione intorno all'asse		Inflessione intorno all'asse		
Classe	Parte soggetta a flessione	Parte soggetta a compressione	Parte soggetta a flessione e a compressione			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 72e$	$c/t \leq 33e$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{396e}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{36e}{\alpha}$			
2	$c/t \leq 83e$	$c/t \leq 38e$	quando $\alpha > 0,5: c/t \leq \frac{456e}{13\alpha - 1}$ quando $\alpha \leq 0,5: c/t \leq \frac{41,5e}{\alpha}$			
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 124e$	$c/t \leq 42e$	quando $\psi > -1: c/t \leq \frac{42e}{0,67 + 0,33\psi}$ quando $\psi \leq -1: c/t \leq 62e(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$			
$e = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	e	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

*) $\psi \leq -1$ si applica se la tensione di compressione $\sigma \leq f_{yk}$ o la deformazione a trazione $\epsilon_y > f_{yk}/E$

Tabella 4.2.II- Massimi rapporti larghezza spessore per parti compresse

Piattabande esterne						
Profilati laminati a caldo			Sezioni saldate			
Classe	Piattabande esterne soggette a compressione	Piattabande esterne soggette a flessione e a compressione				
		Con estremità in compressione		Con estremità in trazione		
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
1	$c/t \leq 9\epsilon$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
2	$c/t \leq 10\epsilon$	$c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$	$c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$
Distribuzione delle tensioni nelle parti (compressione positiva)						
3	$c/t \leq 14\epsilon$	$c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_e}$ Per k_e vedere EN 1993-1-5				
$\epsilon = \sqrt{235/f_{yk}}$	f_{yk}	235	275	355	420	460
	ϵ	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

7.1 TRAVE SECONDARIA HEM 240

Dimensioni geometriche della sezione in acciaio

profilo HEM240

altezza complessiva	h_{tot}	270	mm
larghezza ala superiore	b_{fs}	240	mm
spessore ala superiore	t_{fs}	32	mm
altezza dell'anima	b_w	206	mm
spessore dell'anima	t_w	18	mm
larghezza ala inferiore	b_{fi}	240	mm
spessore ala inferiore	t_{fi}	32	mm
area del profilo	A	19960	mm ²
inerzia del profilo	I	242900000	mm ⁴

Classificazione della sezione

profilo HEM240

Ala superiore

spessore ala superiore	t_{fs}	32	mm
coefficiente	ϵ	0.814	
larghezza	C	111.0	mm
coefficiente di verifica	$C/\epsilon \cdot t_{fs}$	4.26	
classificazione per flessione		classe 1	
classificazione per compressione		classe 1	

Anima

spessore anima	t_w	18	mm
coefficiente	ϵ	0.814	

larghezza	C	206 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon \cdot t_w$	14.07
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

Ala inferiore

spessore ala superiore	t_{fi}	32 mm
coefficiente	ε	0.814
larghezza	C	111.0 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon \cdot t_{fi}$	4.26
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

La sezione è pertanto di classe 1

7.2 TRAVE PRINCIPALE

Dimensioni geometriche dei piatti e delle sezioni in acciaio

piatti superiori

larghezza piatto 1	$b_{f,1}$	200 mm
spessore piatto 1	$t_{f,1}$	50 mm
area piatto 1	$A_{f,1}$	10000 mm ²
inerzia piatto 1	$I_{f,1}$	2083333.333 mm ³
ordinata baricentro piatto 1	$y_{g,1}$	875 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 1	d_1	411.23 mm

larghezza piatto 2	$b_{f,2}$	300 mm
spessore piatto 2	$t_{f,2}$	100 mm
area piatto 2	$A_{f,2}$	30000 mm ²
inerzia piatto 2	$I_{f,2}$	25000000 mm ³
ordinata baricentro piatto 2	$y_{g,2}$	800 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 2	d_2	336.23 mm

profilo HEM260

altezza complessiva	h_{tot}	290 mm
larghezza ala superiore	b_{fs}	268 mm
spessore ala superiore	t_{fs}	32.5 mm
altezza dell'anima	b_w	225 mm
spessore dell'anima	t_w	18 mm
larghezza ala inferiore	b_{fi}	268 mm
spessore ala inferiore	t_{fi}	32.5 mm
area del profilo	A	21960 mm ²
inerzia del profilo	I	313100000 mm ⁴
distanza piatto inferiore 3 - profilo HEM260	h	340 mm
ordinata baricentro profilo HEM260	y	605 mm
distanza baricentro rispetto baricentro profilo HEM260	d	141.23 mm

piatti inferiori

larghezza piatto 3	$b_{f,3}$	490 mm
spessore piatto 3	$t_{f,3}$	40 mm
area piatto 3	$A_{f,3}$	19600 mm ²
inerzia piatto 3	$I_{f,3}$	2613333.333 mm ⁴
ordinata baricentro piatto 3	$y_{g,3}$	100 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 3	d_3	-363.77 mm

larghezza piatto 4	$b_{f,4}$	300 mm
spessore piatto 4	$t_{f,4}$	80 mm

area piatto 4	$A_{f,4}$	24000	mm ²
inerzia piatto 4	$I_{f,4}$	12800000	mm ⁴
ordinata baricentro piatto 4	$y_{g,4}$	40	mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 4	d_4	-423.77	mm

Caratteristiche sezione composta

altezza totale sezione	H	900	mm
area totale sezione composta	Atot	105560	mm ²
somma momenti statici	SAi*yi	48955800	mm ³
distanza baricentro dal lembo inferiore	YG,i	463.77	mm
distanza baricentro dal lembo superiore	YG,s	436.23	mm
sommatoria dei momenti di inerzia principali	SJi2	355596666.67	mm ⁴
sommatoria dei momenti di inerzia di trasporto	SAi*di2	12424216885	mm ⁴
momento di inerzia totale della sezione	Jtot	12779813552	mm ⁴

Classificazione della sezione

piatto 1

spessore ala superiore	t_{fs}	50	mm
coefficiente	ε	0.814	
larghezza	C	91.0	mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	2.24	
classificazione per flessione			classe 1
classificazione per compressione			classe 1

piatto 2

spessore ala superiore	t_{fs}	100	mm
coefficiente	ε	0.814	
larghezza	C	41.0	mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	0.50	
classificazione per flessione			classe 1
classificazione per compressione			classe 1

profilo HEM260

Ala superiore

spessore ala superiore	t_{fs}	32.5	mm
coefficiente	ε	0.814	
larghezza	C	125.0	mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	4.73	
classificazione per flessione			classe 1
classificazione per compressione			classe 1

Anima

spessore anima	tw	18	mm
coefficiente	e	0.814	
larghezza	C	225	mm
coefficiente di verifica	$C/e*tw$	15.36	
classificazione per flessione			classe 1
classificazione per compressione			classe 1

Ala inferiore

spessore ala superiore	tfi	33	mm
coefficiente	e	0.814	
larghezza	C	125.0	mm

coefficiente di verifica	C/e*tfi	4.73
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

La sezione è pertanto di classe 1

7.3 TRAVE PRINCIPALE MAGGIORATA

Dimensioni geometriche dei piatti e delle sezioni in acciaio

piatti superiori

larghezza piatto 1	$b_{f,1}$	200 mm
spessore piatto 1	$t_{f,1}$	50 mm
area piatto 1	$A_{f,1}$	10000 mm ²
inerzia piatto 1	$I_{f,1}$	2083333.333 mm ³
ordinata baricentro piatto 1	$y_{g,1}$	1175 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 1	d_1	656.37 mm

larghezza piatto 2	$b_{f,2}$	300 mm
spessore piatto 2	$t_{f,2}$	100 mm
area piatto 2	$A_{f,2}$	30000 mm ²
inerzia piatto 2	$I_{f,2}$	25000000 mm ³
ordinata baricentro piatto 2	$y_{g,2}$	1100 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 2	d_2	581.37 mm

profilo HEM260

altezza complessiva	h_{tot}	290 mm
larghezza ala superiore	b_{fs}	268 mm
spessore ala superiore	t_{fs}	32.5 mm
altezza dell'anima	b_w	225 mm
spessore dell'anima	t_w	18 mm
larghezza ala inferiore	b_{fi}	268 mm
spessore ala inferiore	t_{fi}	32.5 mm
area del profilo	A	21960 mm ²
inerzia del profilo	I	313100000 mm ⁴
distanza piatto inferiore 3 - profilo HEM260	h	340 mm
ordinata baricentro profilo HEM260	y	905 mm
distanza baricentro rispetto baricentro profilo HEM260	d	386.37 mm

piatti inferiori

larghezza piatto 3	$b_{f,3}$	490 mm
spessore piatto 3	$t_{f,3}$	40 mm
area piatto 3	$A_{f,3}$	19600 mm ²
inerzia piatto 3	$I_{f,3}$	2613333.333 mm ⁴
ordinata baricentro piatto 3	$y_{g,3}$	400 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 3	d_3	-118.63 mm

larghezza piatto 4	$b_{f,4}$	300 mm
spessore piatto 4	$t_{f,4}$	80 mm
area piatto 4	$A_{f,4}$	24000 mm ²
inerzia piatto 4	$I_{f,4}$	12800000 mm ⁴
ordinata baricentro piatto 4	$y_{g,4}$	340 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 4	d_4	-178.63 mm

larghezza piatto 5	$b_{f,5}$	20 mm
spessore piatto 5	$t_{f,5}$	180 mm
area piatto 5	$A_{f,5}$	3600 mm ²
inerzia piatto 5	$I_{f,5}$	9720000 mm ⁴

ordinata baricentro piatto 5	$y_{g,5}$	210 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 5	d_5	-308.63 mm
larghezza piatto 6	$b_{f,6}$	450 mm
spessore piatto 6	$t_{f,6}$	120 mm
area piatto 6	$A_{f,6}$	54000 mm ²
inerzia piatto 6	$I_{f,6}$	64800000 mm ⁴
ordinata baricentro piatto 6	$y_{g,6}$	60 mm
distanza baricentro rispetto baricentro piatto 6	d_6	-458.63 mm

Classificazione della sezione

piatto 1

spessore ala superiore	t_{fs}	50 mm
coefficiente	ε	0.814
larghezza	C	91.0 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	2.24
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

piatto 2

spessore ala superiore	t_{fs}	100 mm
coefficiente	ε	0.814
larghezza	C	191.0 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	2.35
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

profilo HEM260

Ala superiore

spessore ala superiore	t_{fs}	32.5 mm
coefficiente	ε	0.814
larghezza	C	125.0 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_{fs}$	4.73
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

Anima

spessore anima	t_w	18 mm
coefficiente	ε	0.814
larghezza	C	225 mm
coefficiente di verifica	$C/\varepsilon*t_w$	15.36
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

Ala inferiore

spessore ala superiore	t_{fi}	33 mm
coefficiente	e	0.814
larghezza	C	125.0 mm
coefficiente di verifica	$C/e*t_{fi}$	4.73
classificazione per flessione		classe 1
classificazione per compressione		classe 1

La sezione è pertanto di classe 1

In considerazione però dell'utilizzo della struttura, che deve essere in grado di subire deformazioni ridotte, le successive verifiche verranno condotte considerando un comportamento elastico delle strutture.

8. VERIFICA DELLE TRAVI “PRINCIPALI”:

Le due travi principali sono costituite da un'ala inferiore realizzata con due piatti (l'inferiore di 300x80 mm e il superiore di 490x40 mm), da un'anima costituita da tronchetti ad asse verticale di HEM 280 lunghi 340 mm posti ad interasse di 60 cm e da una HEM 260 longitudinale e da un'ala superiore costituita da due piatti di 300x100 mm e 200x50 mm.

Per contrastare l'imbozzamento dell'anima della HEM 260 longitudinale, la stessa è irrigidita da piatti saldati trasversali di spessore 15 mm posti ad interasse di 300 mm.

Alla trave principale composta come sopra descritto, per aumentarne il momento d'inerzia e di conseguenza diminuire la freccia in campata limitandola a 1/1000 della luce di calcolo, sono stati aggiunti inferiormente un piatto verticale di dimensioni 180x20 mm e un piatto orizzontale di dimensioni 450x120 mm; si prevede inoltre di irrigidire il piatto verticale con piatti saldati trasversali di spessore 15 mm posti ad interasse di 300 mm.

Le sollecitazioni risultanti vengono di seguito valutate riferendosi alle combinazioni allo Stato Limite Ultimo con i coefficienti parziali di amplificazione e combinazione di seguito riportati:

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α , ecc.)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	Ξ_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	Ξ_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	Ξ_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	Ξ_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	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 azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Si sono quindi considerate le seguenti combinazioni di carico:

Per la determinazione delle massime sollecitazioni flettenti si è considerata la seguente combinazione di carico:

1,35 peso proprio

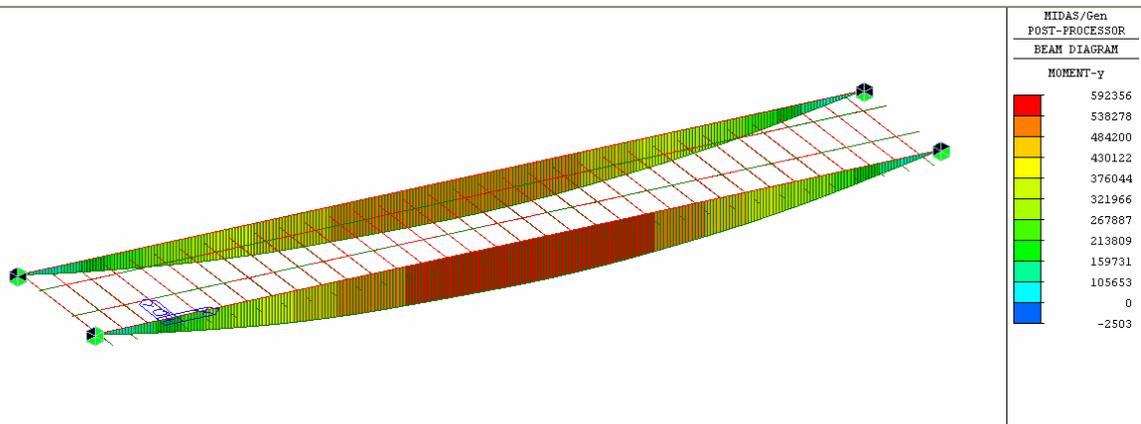
1,5 armamento e traversine

1,45 carico categoria D4 incrementato del coeff. dinamico (posizione 14 dei carri)

1,45 × 0,5 frenatura direzione X-

1,45 × 1,0 serpeggio direzione Y-

1,5 × 0,6 vento direzione Y-



$M_{E,d} = 592.356 \text{ kgm}$

Per la determinazione delle massime sollecitazioni taglianti si è considerata la seguente combinazione di carico:

1,35 peso proprio

1,5 armamento e traversine

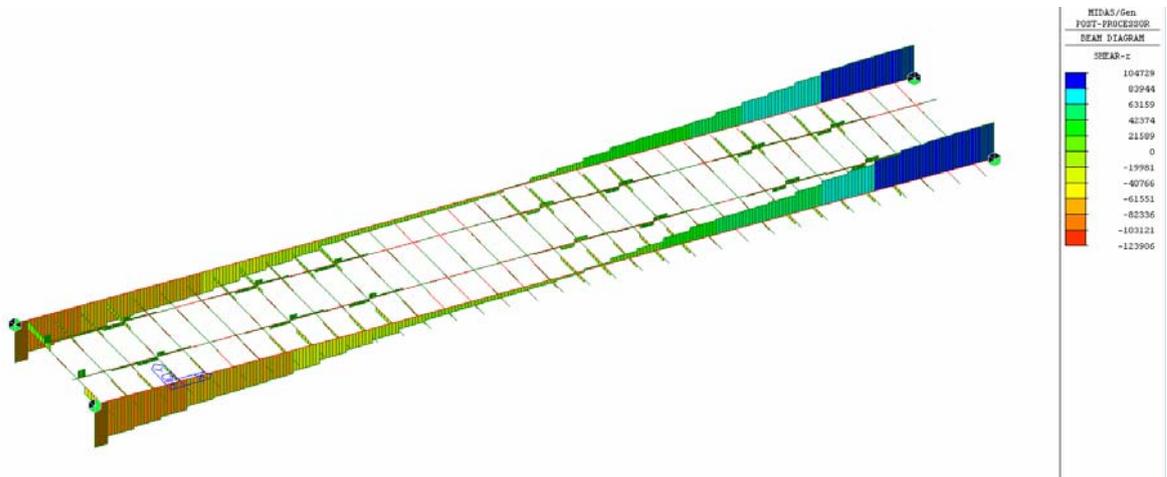
1,45 carico categoria D4 incrementato del coeff. dinamico (posizione 16 dei carri)

1,45 × 0,5 frenatura direzione X+

1,45 × 1,0 serpeggio direzione Y+

1,5 × 0,6 vento direzione Y-

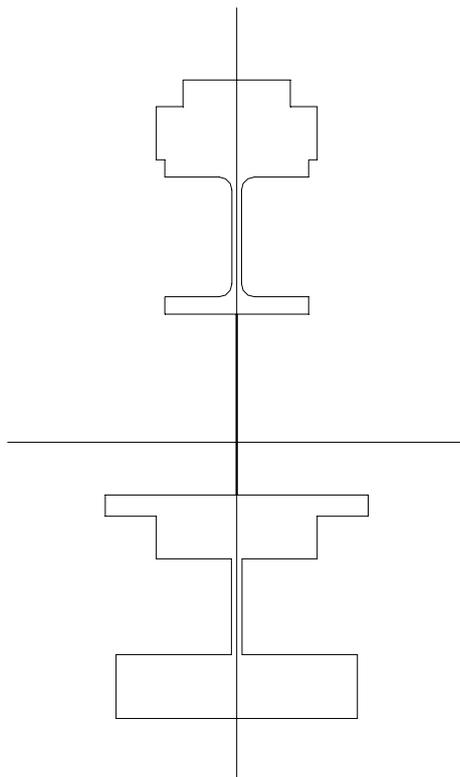
Taglio



$V_{E,d} = 132.665 \text{ kg}$

8.1 CARATTERISTICHE STATICHE E INERZIALI DELLE TRAVI PRINCIPALI

Trave "maggiorata"



Area: 1638.444426

Perimetro: 529.479645

Casella di delimitazione: X: -24.500000 -- 24.500000
Y: -51.893747 -- 68.106253

Baricentro: X: 0.000000
Y: 0.000000

Momenti di inerzia: X: 3090991.246824
Y: 184635.273376

Prodotti di inerzia: XY: 0.000000

Raggi di girazione: X: 43.434320
Y: 10.615525

Momenti principali e direzione X-Y rispetto al baricentro:

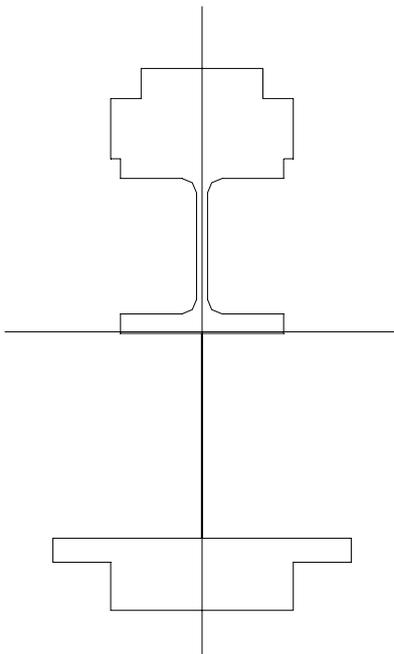
I: 184635.273376 lungo [0.000000 -1.000000]

J: 3090991.246824 lungo [1.000000 0.000000]

Modulo di resistenza minimo:

$$W = 3090991 / 68,1 = 45389 \text{ cm}^3$$

Trave "normale" (per 1,80 m dagli appoggi di estremità)



Area: 1062.444426

Perimetro: 383.479645

Casella di delimitazione: X: -24.500000 -- 24.500000
Y: -46.266597 -- 43.733403

Baricentro: X: 0.000000
Y: 0.000000

Momenti di inerzia: X: 1280682.522122
Y: 93498.273376

Prodotti di inerzia: XY: 0.000000

Raggi di girazione: X: 34.719034
Y: 9.380990

Momenti principali e direzione X-Y rispetto al baricentro:

I: 93498.273376 lungo [0.000000 -1.000000]

J: 1280682.522122 lungo [1.000000 0.000000]

8.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si svolge la verifica in campo elastico; deve essere:

Momento flettente:

$$\sigma_{x,Ed} \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})$$

dove il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature vale $\gamma_{M0} = 1,05$

$$\sigma_{x,Ed} = 59.235.600 / 45.389 = 1.305 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2 = 3.350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 3.350 / 1,05 = 3.190 \text{ kg/cm}^2$$

Si ha quindi:

$$1.305 \leq 3.190 \text{ (verificato)}$$

Taglio:

$$3 \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

dove il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature vale $\gamma_{M0} = 1,05$

$$\tau_{Ed} = 132.665 / 164 = 809 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2 = 3.350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 3.350 / 1,05 = 3.190 \text{ kg/cm}^2$$

Si ha quindi:

$$3 \times 809^2 \leq 3.190^2 \rightarrow 1.963.443 \leq 10.176.100 \quad (\text{verificato})$$

8.3 VERIFICA DELLE TRAVI PRINCIPALI NEI RIGUARDI DELL'INSTABILITA' FLESSO TORSIONALE

Di seguito si riporta la verifica flesso torsionale della sezione della trave principale del ponte. Per semplicità si è riportato il caso ad una sezione equivalente a una sezione a doppio T simmetrica, andando a ipotizzare una sezione a doppio T con due ali superiore ed inferiore equivalenti, e utilizzando uno spessore uniforme per entrambe, calcolando uno spessore equivalente dei piatti in rapporto e funzione delle singole aree.

Una trave con sezione ad I o H soggetta a flessione nel piano dell'anima, con la piattabanda compressa non sufficientemente vincolata lateralmente, deve essere verificata nei riguardi dell'instabilità flesso torsionale secondo la formula:

$$M_{Ed} / M_{b,Rd} \leq 1$$

dove:

M_{Ed} è il massimo momento flettente di calcolo

$M_{b,Rd}$ è il momento resistente di progetto per l'instabilità.

Il momento resistente di progetto per i fenomeni di instabilità di una trave lateralmente non vincolata può essere assunto pari a:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y \cdot f_{yk}}{\gamma_{M1}}$$

dove W_y è il modulo resistente della sezione.

Il fattore χ_{LT} è il fattore di riduzione per l'instabilità flessotorsionale, dipendente dal tipo di profilo impiegato; può essere determinato per profili laminati o composti saldati dalla formula:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \left\{ 1, 0; \frac{1}{\lambda_{LT}^2} \cdot \frac{1}{f} \right\}$$

dove:

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Il coefficiente λ_{LT} viene dato dalla formula:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

in cui M_{cr} è il momento critico elastico di instabilità torsionale, calcolato considerando la sezione lorda del profilo e i ritegni torsionali nell'ipotesi di diagramma di momento flettente uniforme. Il fattore di imperfezione α_{LT} è ottenuto dalle indicazioni riportate nella Tab. 4.2.VII. Il coefficiente $\lambda_{LT,0}$ può essere assunto in generale pari a 0,2 e comunque mai superiore a 0,4 (consigliato per sezioni laminare e composte saldate) mentre il coefficiente β può essere assunto in generale pari ad 1 e comunque mai inferiore a 0,75 (valore consigliato per sezioni laminare e composte saldate).

Il fattore f considera la reale distribuzione del momento flettente tra i ritegni torsionali dell'elemento inflesso ed è definito dalla formula:

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \cdot \left[1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0.8)^2 \right]$$

in cui il fattore correttivo k_c assume i valori riportati in Tab. 4.2.VIII.

Tabella 4.2.VII Definizione delle curve d'instabilità per le varie tipologie di sezione e per gli elementi inflessi.

Sezione trasversale	Limiti	Curva di instabilità da Tab. 4.2.VI
Sezione laminata ad I	$h/b \leq 2$	b
	$h/b > 2$	c
Sezione composta saldata	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Altre sezioni trasversale	-	d

Il coefficiente di snellezza adimensionale λ_{LT} , di cui al §4.2.4.1.3.2 delle NTC, che consente di eseguire la verifica ad instabilità flesso-torsionale dipende dal valore del momento critico elastico di instabilità torsionale, M_{cr} , del profilo inflesso in esame. Per profili standard (sezioni doppiamente simmetriche ad I o H) il momento critico può calcolarsi con la seguente formula:

$$M_{cr} = \Psi \cdot \frac{\pi}{L_{cr}} \cdot \sqrt{EJ_y \cdot GI_t} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\pi}{L_{cr}} \right)^2 \cdot \frac{EI_\omega}{GI_t}}$$

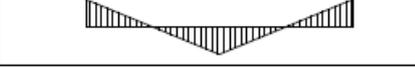
dove L_{cr} è la lunghezza di libera inflessione laterale, misurata tra due ritegni torsionali successivi, EJ_y è la rigidezza flessionale laterale del profilo (misurata in genere rispetto all'asse debole), GI_t è la rigidezza torsionale del profilo mentre EI_ω è la rigidezza torsionale secondaria del profilo. Il

coefficiente ψ tiene conto della distribuzione del momento flettente lungo la trave ed è dato dall'espressione:

$$\Psi = 1.75 - 1.05 \cdot \frac{M_B}{M_A} + 0.3 \cdot \left(\frac{M_B}{M_A} \right)^2$$

in cui M_A ed M_B sono i momenti flettenti agenti alle estremità della trave, con $|M_B| < |M_A|$. Per il calcolo del coefficiente ψ si fa riferimento anche alla sottostante tabella.

Tabella 4.2.VIII Coefficiente correttivo del momento flettente per la verifica a stabilità delle travi inflesse.

Distribuzione del momento flettente	Fattore correttivo k_c
 $\psi = M_{dx} / M_{sx} = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Per il calcolo del momento di inerzia torsionale primario I_t e momento di inerzia settoriale I_ω si usano le seguenti formulazioni:

$$I_t = (1/3) \sum b_i \cdot t_i^3$$

con:

b_i e t_i rispettivamente le lunghezze e gli spessori dei singoli rettangoli che costituiscono la sezione

$$I_\omega = (1/12) \cdot t_f \cdot h^3 \cdot (b_1^3 \cdot b_2^3) / (b_1^3 + b_2^3)$$

con:

t_f lo spessore dell'ala della sezione

h l'altezza della sezione

b_1 lo spessore dell'ala superiore della sezione

b_2 lo spessore dell'ala inferiore della sezione

Trave principale

Caratteristiche sezione equivalente

altezza totale sezione	H	900 mm
area totale sezione composta	A_{tot}	105560 mm ²
somma momenti statici	$\Sigma A_i \cdot y_i$	48955800 mm ³
distanza baricentro dal lembo inferiore	$Y_{G,i}$	463.77 mm
distanza baricentro dal lembo superiore	$Y_{G,s}$	436.23 mm
sommatoria dei momenti di inerzia principali	ΣJ_i^2	355596666.67 mm ⁴
sommatoria dei momenti di inerzia di trasporto	$\Sigma A_i \cdot d_i^2$	12424216885 mm ⁴
momento di inerzia totale della sezione	J_{tot}	12779813552 mm ⁴
modulo di resistenza superiore	W_{sup}	29296197 mm ³
modulo di resistenza inferiore	W_{inf}	27556227 mm ³

Caratteristiche torsionali della sezione

momento di inerzia torsionale primaria	I_t	176557358.3 mm ³
momento di inerzia asse debole	I_z	934982730 mm ³

area totale piatto superiore equivalente	$A_{eq,1}$	48710 mm ²
spessore piatto superiore equivalente	$t_{eq,1}$	77.67 mm
larghezza piatto superiore equivalente	$b_{eq,1}$	627.18 mm

area totale piatti inferiore equivalente	$A_{eq,2}$	43600 mm ²
spessore piatto inferiore equivalente	$t_{eq,2}$	62.02 mm
larghezza piatto inferiore equivalente	$b_{eq,2}$	703.02 mm

valore medio tra gli spessori equivalenti	$t_{eq,medio}$	69.84 mm
valore scelto	t_f	70 mm

area totale piatto superiore equivalente	$A_{eq,1}$	48710 mm ²
larghezza piatto superiore equivalente	$t_{eq,1}$	70 mm
spessore piatto superiore equivalente	$b_{eq,1}$	695.86 mm

area totale piatti inferiore equivalente	$A_{eq,2}$	43600 mm ²
spessore piatto inferiore equivalente	$t_{eq,2}$	70 mm
larghezza piatto inferiore equivalente	$b_{eq,2}$	622.86 mm

momento di inerzia settoriale	I_ω	6.64907E+14 mm ⁶
-------------------------------	------------	-----------------------------

Caratteristiche materiali e coefficienti sicurezza

Tensione nominale di snervamento	f_{yk}	335 N/mm ²
Tensione nominale di rottura	f_{tk}	470 N/mm ²
coefficiente materiale a instabilità	γ_{M1}	1,1

Verifica a instabilità flesso torsionale

curva di instabilità		d	
coefficiente	ε	0,84	
coefficiente	α_{LT}	0,76	
coefficiente	β_W	0,750	
coefficiente	λ_1	78,65	
coefficiente	$\lambda_{LT,0}$	0,2	
luce di calcolo tra ritegni torsionali	L	20,40 m	
modulo di elasticità	E_a	210000 N/mm ²	
modulo di elasticità tangenziale	G_a	80769,23 N/mm ²	
modulo di resistenza	W_y	2,756E+07 mm ³	
momento di inerzia asse debole	I_z	9,350E+08 mm ⁴	
momento di inerzia settoriale	I_ω	6,649E+14 mm ⁶	
momento di inerzia torsionale primaria	I_t	1,766E+08 mm ⁴	
<i>caso A): per sezioni tipo 4</i>			
momento d'estremità	M_A	1880 kNm	
momento d'estremità	M_B	0 kNm	
	ass(M_B)		
controllo rapporto tra momenti	<ass(M_A)	0,00 <	1 verificato
coefficiente	k_c	0,940	
coefficiente moltiplicativo per momento critico	Ψ	1,750	
termine moltiplicazione 1	a	0,0003 mm ⁻¹	
termine moltiplicazione 2	b	5,2915E+13 Nmm ²	
termine moltiplicazione 3	c	1,1101	
momento critico	$M_{cr} = a*b*c =$	1,5830E+10 Nmm	
coefficiente	λ_{LT}	0,7636	
coefficiente	ϕ_{LT}	0,9329	
coefficiente	f	0,97	
valore limite	$(f \lambda_{LT}^2)^{-1}$	1,77 >	1,00 valore limite pari a 1.00
valore limite scelto	$\chi_{LT, max}$	1,00	
coefficiente calcolato	$\chi_{LT, calc}$	0,648	
coefficiente scelto	χ_{LT}	0,65	
modulo di resistenza	W_y	27556226,61 mm ³	
momento resistete di calcolo a flessione	$M_{b, Rd}$	5438,10 kNm	
azione di calcolo a flessione	M_{Ed}	1880 kNm	
rapporto	$M_{Ed} / M_{b, Rd}$	0,346 <	1 verificato

Trave principale maggiorata

Caratteristiche sezione composta

altezza totale sezione	H	1200 mm
area totale sezione composta	A_{tot}	163160 mm ²
somma momenti statici	$\Sigma A_i \cdot y_i$	84619800 mm ³
distanza baricentro dal lembo inferiore	$Y_{G,i}$	518.63 mm
distanza baricentro dal lembo superiore	$Y_{G,s}$	681.37 mm
sommatoria dei momenti di inerzia principali	ΣJ_i^2	430116666.67 mm ⁴
sommatoria dei momenti di inerzia di trasporto	$\Sigma A_i \cdot d_i^2$	30469165119 mm ⁴
momento di inerzia totale della sezione	J_{tot}	30899281786 mm ⁴
modulo di resistenza superiore	W_{sup}	45348809 mm ³
modulo di resistenza inferiore	W_{inf}	59578572 mm ³

Caratteristiche torsionali della sezione

momento di inerzia torsionale primaria	I_t	474637358.3 mm ³
momento di inerzia asse debole	I_z	1846352730 mm ³

area totale piatto superiore equivalente	$A_{eq,1}$	48710 mm ²
spessore piatto superiore equivalente	$t_{eq,1}$	77.67 mm
larghezza piatto superiore equivalente	$b_{eq,1}$	627.18 mm

area totale piatti inferiore equivalente	$A_{eq,2}$	97600 mm ²
spessore piatto inferiore equivalente	$t_{eq,2}$	94.10 mm
larghezza piatto inferiore equivalente	$b_{eq,2}$	1037.21 mm

valore medio tra gli spessori equivalenti	$t_{eq,medio}$	85.88 mm
valore scelto	t_f	85 mm

area totale piatto superiore equivalente	$A_{eq,1}$	48710 mm ²
spessore piatto superiore equivalente	$t_{eq,1}$	85 mm
larghezza piatto superiore equivalente	$b_{eq,1}$	573.06 mm

area totale piatti inferiore equivalente	$A_{eq,2}$	97600 mm ²
spessore piatto inferiore equivalente	$t_{eq,2}$	85 mm
larghezza piatto inferiore equivalente	$b_{eq,2}$	1148.24 mm

momento di inerzia settoriale	I_ω	1.70731E+15 mm ⁶
-------------------------------	------------	-----------------------------

Caratteristiche materiali e coefficienti sicurezza

Tensione nominale di snervamento	f_{yk}	335 N/mm ²
Tensione nominale di rottura	f_{tk}	470 N/mm ²
coefficiente materiale a instabilità	γ_{M1}	1,1

Verifica a instabilità flesso torsionale

curva di instabilità		d	
coefficiente	ε	0,84	
coefficiente	α_{LT}	0,76	
coefficiente	β_W	0,750	
coefficiente	λ_1	78,65	
coefficiente	$\lambda_{LT,0}$	0,2	
luce di calcolo tra ritegni torsionali	L	20,40	m
modulo di elasticità	E_a	210000	N/mm ²
modulo di elasticità tangenziale	G_a	80769,23	N/mm ²
modulo di resistenza	W_y	5,958E+07	mm ³
momento di inerzia asse debole	I_z	1,846E+09	mm ⁴
momento di inerzia settoriale	I_ω	1,707E+15	mm ⁶
momento di inerzia torsionale primaria	I_t	4,746E+08	mm ⁴
<i>caso A): per sezioni tipo 4</i>			
momento d'estremità	M_A	5809	kNm
momento d'estremità	M_B	0	kNm
	ass(M_B)		
controllo rapporto tra momenti	<ass(M_A)	0,00	< 1 verificato
coefficiente	k_c	0,940	
coefficiente moltiplicativo per momento critico	Ψ	1,750	
termine moltiplicazione 1	a	0,0003	mm ⁻¹
termine moltiplicazione 2	b	1,2192E+14	Nmm ²
termine moltiplicazione 3	c	1,1054	
momento critico	$M_{cr} = a*b*c =$	3,6319E+10	Nmm
coefficiente	λ_{LT}	0,7413	
coefficiente	ϕ_{LT}	0,9118	
coefficiente	f	0,97	
valore limite	$(f \lambda_{LT}^2)^{-1}$	1,88	> 1,00 valore limite pari a 1.00
valore limite scelto	$\chi_{LT, max}$	1,00	
coefficiente calcolato	$\chi_{LT, calc}$	0,661	
coefficiente scelto	χ_{LT}	0,66	
modulo di resistenza	W_y	59578571,64	mm ³
momento resistete di calcolo a flessione	$M_{b,Rd}$	11994,15	kNm
azione di calcolo a flessione	M_{Ed}	5809	kNm
rapporto	$M_{Ed} / M_{b,Rd}$	0,484	< 1 verificato

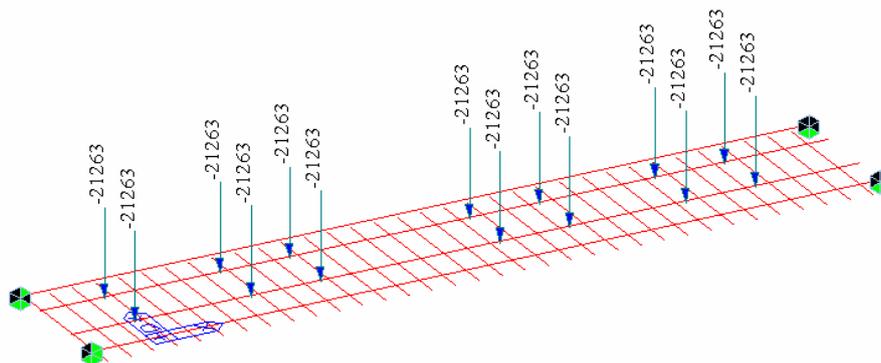
9. VERIFICA DELLE TRAVI “SECONDARIE”:

Le travi secondarie sono costituite da un profilo HEM 240.

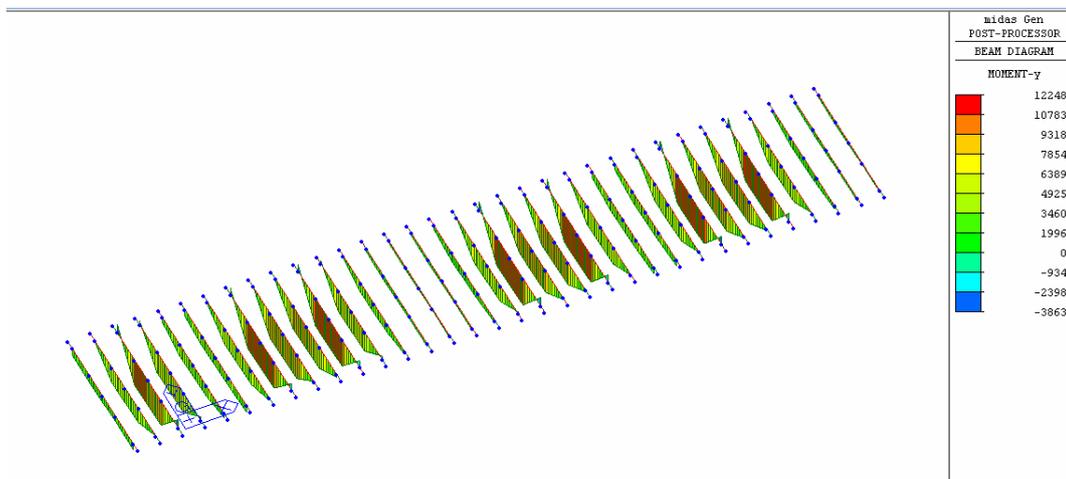
Per la determinazione delle massime sollecitazioni si è considerata la seguente combinazione di carico:

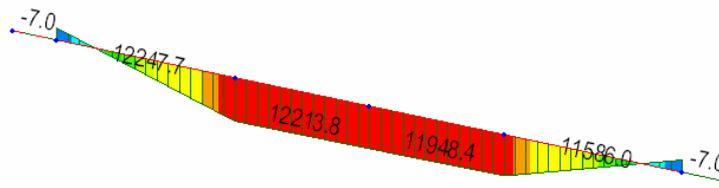
- 1,35 peso proprio
- 1,5 armamento e traversine
- 1,45 carico categoria D4 incrementato del coeff. dinamico relativo alle travi secondarie (1,89) (posizione 15 dei carri)
- 1,45 x 1,0 frenatura direzione X+
- 1,45 x 0,5 serpeggio direzione Y+
- 1,5 x 0,6 vento direzione Y+

Posizione 15 dei carri per verifica travi secondarie

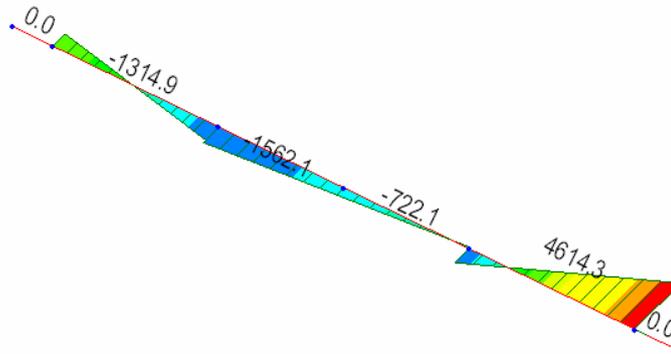
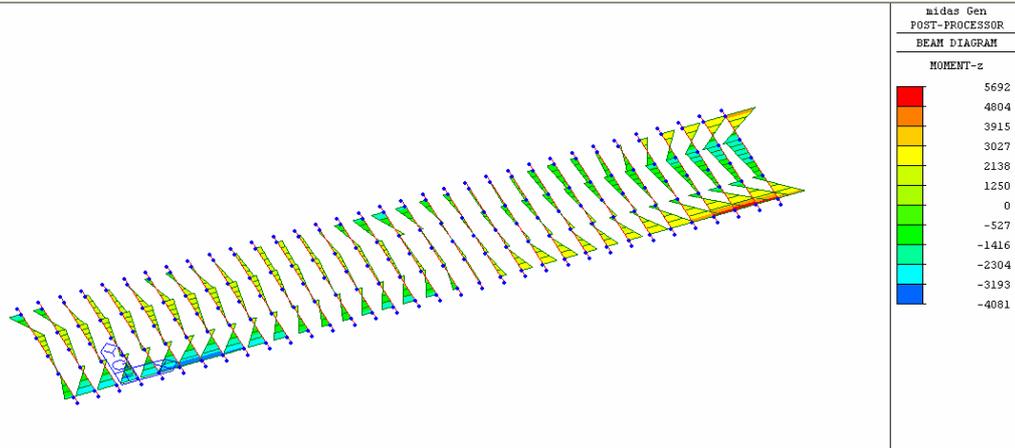


Momento flettente My (kgm)

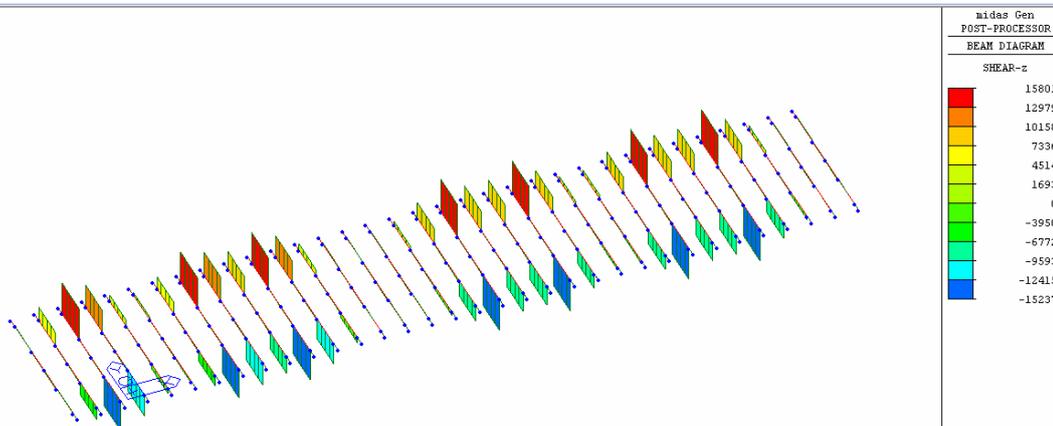


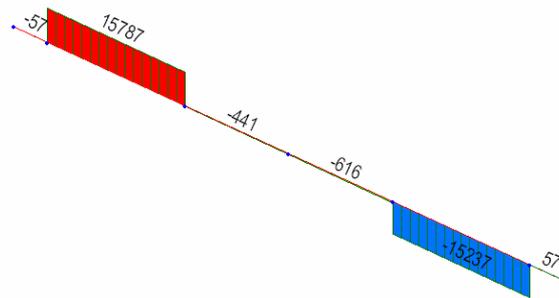


Momento flettente M_z (kgm)

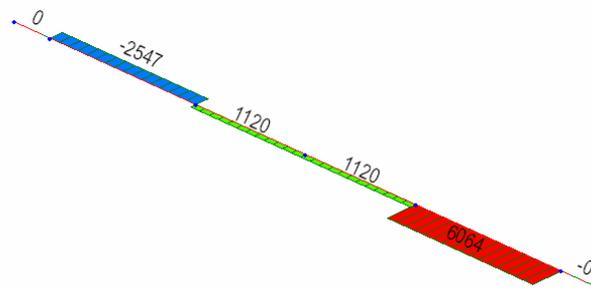
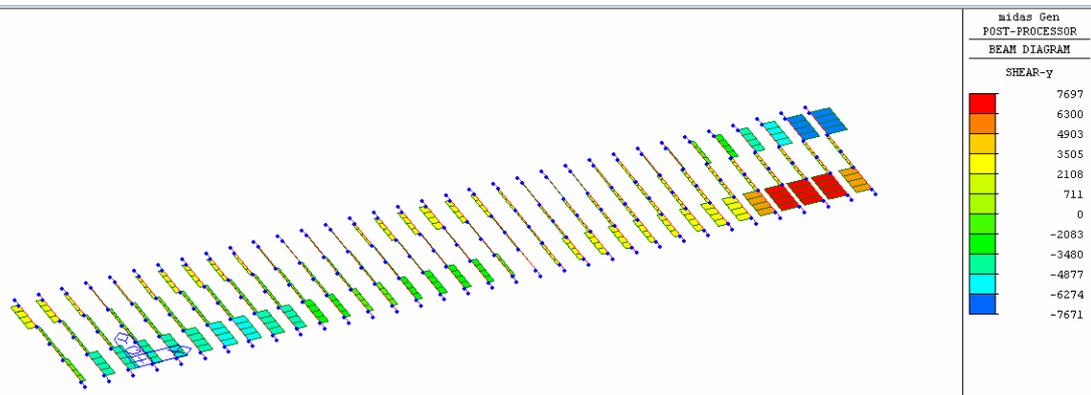


Taglio F_z (kg)





Taglio Fy (kg)



9.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Caratteristiche delle travi secondarie: HEM 240

Dimensioni

B	248.0	mm
B2	248.0	mm
H	270.0	mm
T1	18.0	mm
T2	32.0	mm
T3	32.0	mm
R1	21.00	mm
R2	21.00	mm

Inerzie

Jx	24290.82	cm ⁴
Jy	8152.66	cm ⁴

Baricentri

Xg	12.40	cm
Yg	13.50	cm

Superficie

Area	199.60	cm ²
Peso	156.69	daN/m

Raggi d'inerzia

R _{jx}	11.0	cm
R _{iy}	6.4	cm

Moduli di resistenza

W _x	1799.32	cm ³
W _y	657.47	cm ³

Rigidezze

I _t	588.03	cm ⁴
I _w	1151987.38	cm ⁶

Si svolge la verifica in campo elastico; deve essere:

$$\sigma_{x,Ed}^2 + 3 \tau_{Ed}^2 \leq (f_{yk} / \gamma_{M0})^2$$

dove il coefficiente di sicurezza per la resistenza delle membrature vale $\gamma_{M0} = 1,05$

$$\sigma_{x,Ed} = 1.221.380 / 1.799 + 156.210 / 657 = 917 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{Ed} = 15.787 / 48 + 6.064 / 158 = 367 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} = 335 \text{ N/mm}^2 = 3.350 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{yk} / \gamma_{M0} = 3.350 / 1,05 = 3.190 \text{ kg/cm}^2$$

Si ha quindi:

$$917^2 + 3 \times 367^2 \leq 3.190^2 \rightarrow 1.244.956 \leq 10.176.100 \text{ (verificato)}$$

9.2 VERIFICA DEL COLLEGAMENTO TRAVI “SECONDARIE” – TRAVI “PRINCIPALI”

Il giunto trave secondaria – trave principale è del tipo ad attrito con viti di classe 10.9 e dadi di classe 8G (bulloni ϕ 22 mm. e fori $\phi = 22 + 1,5 = 23,5$ mm.) .

Si considera il “Gruppo 1” dei carichi da traffico ferroviario e i coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU relativi alla combinazione A1-STR.

Il giunto preso in esame è quello relativo alla trave secondaria posta nella mezzera del ponte, che risulta essere il più sollecitato per la presenza, in corrispondenza ad esso, della forza concentrata di serpeggio.

Si è considerata la seguente combinazione agli SLU:

1,35 peso proprio

1,50 armamento e traversine

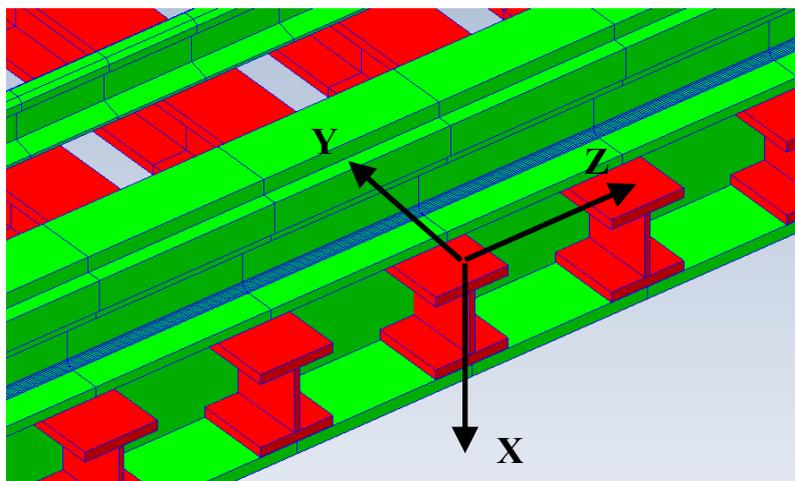
1,45 carico categoria D4 incrementato del coeff. dinamico (posizione 7 dei carri)

1,45 × 0,5 frenatura direzione X-

1,45 × 1,0 serpeggio direzione Y+

1,5 × 0,6 vento direzione Y+

Sistema di riferimento locale della connessione trave principale – trave secondaria:



Le sollecitazioni risultanti nel collegamento sono le seguenti:

$$F_x = 11.181 \text{ kg}$$

$$F_y = 14.232 \text{ kg}$$

$$F_z = -1.570 \text{ kg}$$

$$M_x = -1.228 \text{ kgm}$$

$$M_y = -326 \text{ kgm}$$

$$M_z = -2.956 \text{ kgm}$$

La bullonatura tra trave principale e trave secondaria è costituita da 4 bulloni Ø 22 con la seguente geometria:

distanza tra le due file di bulloni: 150 mm

distanza tra le due colonne di bulloni: 370 mm

distanza in diagonale tra i bulloni: 399 mm

Sollecitazione di **taglio** nel singolo bullone:

$$\text{Dovuta a } F_y: 14.232 / 4 = 3.558 \text{ kg}$$

$$\text{Dovuta a } F_z: 1.570 / 4 = 393 \text{ kg}$$

$$\text{Dovuta a } M_x: 122.800 / (39,9 \times 2) = 1.539 \text{ kg}$$

componente y: $1.539 \times \cos 67,9^\circ = 579 \text{ kg}$

componente z: $1.539 \times \sin 67,9^\circ = 1.426 \text{ kg}$

Sollecitazione di taglio risultante nel singolo bullone:

$$V_{E,d} = \sqrt{((3.558 + 579)^2 + (393 + 1.426)^2)} = 4.519 \text{ kg}$$

Sollecitazione di **sforzo normale** nel singolo bullone:

Dovuta a My: $32.600 / (15 \times 2) = 1.087 \text{ kg}$ (trazione)

Dovuta a Mz: $295.600 / (37 \times 2) = 3.995 \text{ kg}$ (trazione)

Dovuta a Fx: $11.181 / 4 = 2.795 \text{ kg}$ (compressione)

Sollecitazione di sforzo normale risultante nel singolo bullone:

$$N_{E,d} = 1.087 + 3.995 - 2.795 = 2.287 \text{ kg}$$
 (trazione)

Resistenza di progetto dei bulloni - EC3 (edizione 1992) #6.5.5.

Classe bullone: 10,9 diametro d: 22 f_{yb} : 900 f_{ub} : 1000 N/mm²

Sezione filettata
 Sezione lorda

Area: 303,0 mm²

Resistenza a taglio (per piano di taglio) $F_{v,Rd}$: 121,2 kN
 Resistenza a trazione $F_{t,Rd}$: 218,2 kN

Taglio e Trazione - EC3 #6.5.5.(5)

$F_{v,Sd}$: 45,2 $F_{t,Sd}$: 22,9 kN

$\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Sd}}{1,4 F_{t,Rd}} = 0,373 + 0,075 = 0,448$ OK

Rifollamento

Acciaio: S355 (Fe510) f_u : 510 N/mm²

spessore t: 32 mm
 diametro foro d_o : 23,5 mm
 distanze bordo e_1 : 60 e_2 : 49
 passo p_1 : 370 p_2 : 150

α : 0,851

Resistenza a rifollamento $F_{b,Rd}$: 611,1 kN Osservazioni

Verifica dell'unione a taglio per attrito:

Sollecitazione di taglio risultante nel giunto:

$$F_v = \sqrt{(14.232^2 + 1570^2)} = 14.318 \text{ kg}$$

Sollecitazione di sforzo normale risultante nel giunto:

$$F_t = 11.181 \text{ kg}$$
 (compressione)

Taglio nel singolo bullone:

$$F_{v,Ed} = 14.318 / 4 = 3.580 \text{ kg} = 35,8 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo allo scorrimento $F_{s,Rd}$ di un bullone precaricato (allo stato limite ultimo):

$$F_{s,Rd} = n \mu F_{p,C} / \gamma_{M3}$$

n è il numero delle superfici di attrito

μ è il coefficiente di attrito (pari a 0,3)

$F_{p,C}$ è la forza di precarico del bullone pari a: $F_{p,C} = 0,7 F_{tb} A_{res} / \gamma_{M7}$

Nel nostro caso:

$$F_{p,C} = 0,7 \times 1000 \times 303 / 1,10 = 192818 \text{ N} = 192,8 \text{ kN}$$

$$F_{s,Rd} = 1 \times 0,3 \times 192,8 / 1,25 = 46,3 \text{ kN} > 35,8 \text{ kN} \quad \text{VERIFICATO}$$

10. VERIFICA A FATICA

Per la normativa RFI, E' possibile ricondurre la verifica a fatica ad una verifica convenzionale di resistenza, confrontando il delta ideale convenzionale di tensione di progetto, $\Delta\sigma_{E,d}$, descritto nel seguito, con la classe del particolare $\Delta\sigma_C$. Il delta di tensione convenzionale di calcolo è dato da:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda \Phi_2 \Delta\sigma_{D4} \leq \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$$

Dove:

- λ è un fattore di correzione i cui valori numerici, definito come ;
- $\Delta\sigma$ è la differenza di tensione tra i valori estremi $\Delta\sigma_{max}$ e $\Delta\sigma_{min}$ dovuti a sovraccarico del carico da traffico D4 adottato;
- $\Delta\sigma_{D4}$ è la resistenza alla fatica corrispondente a 2×10^6 cicli da ricavare sulle curve SN corrispondenti al particolare strutturale esaminato;
- $\Delta\sigma_C$ è il coefficiente di incremento dinamico del sovraccarico teorico valutato mediante la seguente formula:
- $\Phi_2 = 1.44 / (\sqrt{L_\Phi} - 0.2) + 0.82$ con la limitazione $1.00 \leq \Phi_2 \leq 1.67$

dove L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri, che nel caso specifico è pari alla lunghezza della trave principale. I coefficienti di incremento dinamico sono stabiliti con riferimento a travi semplicemente appoggiate, come nel nostro caso in esame.

I valori dei coefficienti γ_{Mf} da adottare nelle verifiche delle strutture sensibili e poco sensibili sono riportati in Tabella 1.4-1, in funzione delle conseguenze dell'eventuale rottura per fatica.

Criteri di valutazione della resistenza a fatica	Conseguenza della rottura per fatica	
	Moderate	Significative
Danneggiamento accettabile (strutture poco sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Vita utile (strutture sensibili alla rottura per fatica)	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Tab. 1.4-1 – Coefficienti parziali γ_{Mf} per verifiche a fatica

Il coefficiente parziale per i carichi da fatica per i ponti ferroviari metallici, trattandosi di opere “sensibili ai fenomeni di fatica”, deve essere assunto pari a 1.35.

Il fattore di correzione λ è dato dalla seguente formula:

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \leq \lambda_{max}$$

Dove:

- λ_1 è un fattore che, per differenti tipi di travature, porta in conto l'effetto di danneggiamento dovuto al traffico e dipende dalla lunghezza di influenza caratteristica dell'elemento da verificare, che nel nostro caso per travi semplicemente appoggiate è pari alla luce di calcolo del ponte provvisorio stesso;
- λ_2 è un fattore che porta in conto il volume di traffico (definito in 2.2);
- λ_3 è un fattore che porta in conto la vita di progetto del ponte (definito in 2.3);
- λ_4 è un fattore da applicarsi quando l'elemento strutturale è caricato da più di un binario (definito in 2.4), pari a 1 nel nostro caso in quanto la struttura è progettata per sorreggere un unico binario.

Di seguito si riportano le tabelle per il calcolo dei coefficienti adottati:

L [m]	λ_1
0,5	1,60
1,0	1,60
1,5	1,60
2,0	1,46
2,5	1,38
3,0	1,35
3,5	1,17
4,0	1,07
4,5	1,02
5,0	1,03
6,0	1,03
7,0	0,97
8,0	0,92
9,0	0,88
10,0	0,85
12,5	0,82
15,0	0,76
17,5	0,70
20,0	0,67
25,0	0,66
30,0	0,65
35,0	0,64
40,0	0,64
45,0	0,64
50,0	0,63
60,0	0,63
70,0	0,62
80,0	0,61
90,0	0,61
100,0	0,60

Tab. 2.1-1 – Valori di λ_1 in funzione di L [m]

Traffico annuo [10⁶ t/binario]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0.72	0.83	0.90	0.96	1.00	1.04	1.07	1.10	1.15

Tab. 2.2-1 – Valori di λ_2 in termini di volume di traffico annuo

Vita utile a fatica [anni]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0.87	0.90	0.93	0.96	0.98	1.00	1.04

Tab. 2.3-1 – Valori di λ_3 in termini di vita di progetto della struttura

Nelle verifiche di seguito riportate si è fatto riferimento alle classi dei dettagli costruttivi delle Tabelle C.4.2.XIII.a - C.4.2.XIII.b - C.4.2.XIV rispettivamente per le verifiche tensionali

10.1 TRAVI PRINCIPALI

Si riporta il riepilogo delle sollecitazioni massime ottenute per le tipologie di sezioni esaminate:

	My (kNm)	Fz (kN)
Trave Principale		
	954.91	508.94
	0.00	604.42
Trave principale maggiorata		
	2731.07	63.40
	1111.27	508.94

Trave principale

Verifica Piatto 1

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²	
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli			
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	28.831 N/mm ²	
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35	
spessore elemento da verificare	t	40 mm	
coefficiente riduttivo	k_s	0.889	<= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	111.14 N/mm ²	
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	88.91 N/mm ²	

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

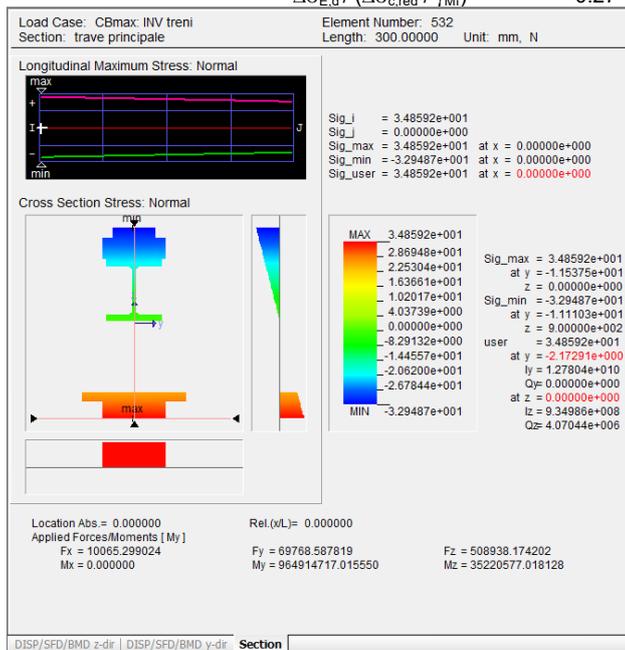
coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	22.28 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	82.33 N/mm ²

rapporto $\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$ 0.27 < 1 verificato



Verifica Piatto 2

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	28.831 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	40 mm
coefficiente riduttivo	k _s	0.889 <=
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	111.14 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	88.91 N/mm ²

1 verificato

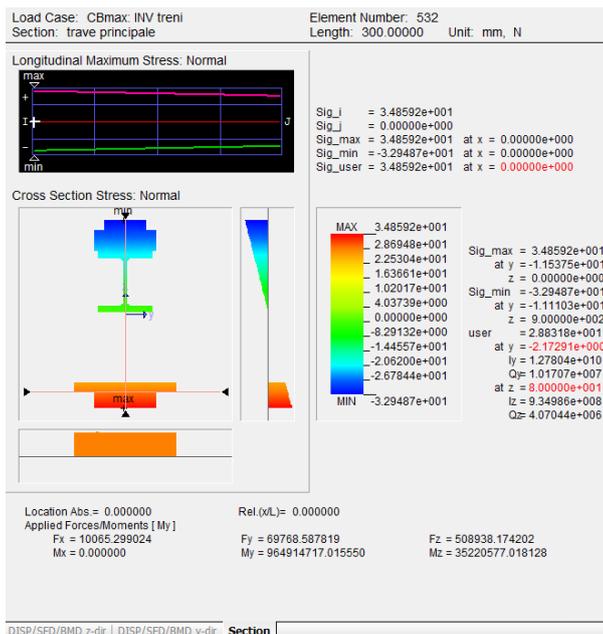
Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00
coefficiente	λ_3	1.00

coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67
<u>Verifica a fatica</u>		
tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	22.28 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	82.33 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.27 < 1 verificato



Verifica profilo HEM260

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	140 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	21.647 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	35 mm
coefficiente riduttivo	k _s	0.919 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	128.71 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	91.93 N/mm ²

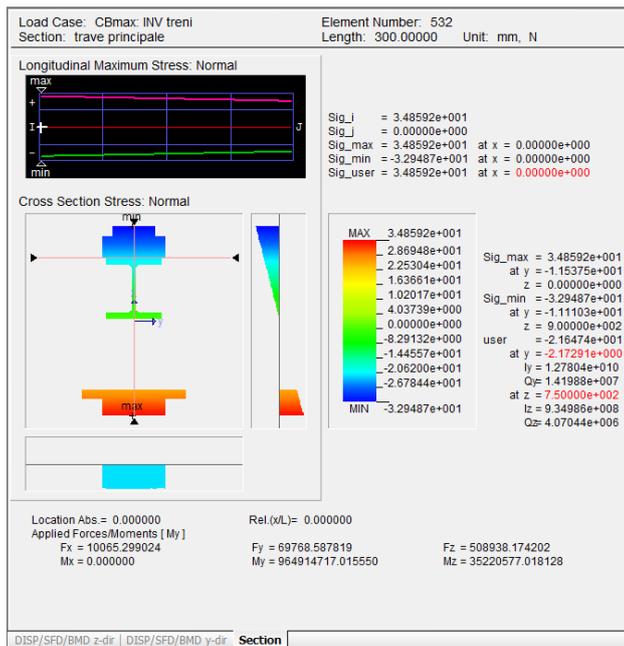
Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00
coefficiente	λ_3	1.00

coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67
<u>Verifica a fatica</u>		
tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	16.73 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	95.34 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.18 < 1 verificato



Verifica Piatto 3

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	29.181 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	100 mm
coefficiente riduttivo	k_s	0.707 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	88.39 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	70.71 N/mm ²

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00
coefficiente	λ_3	1.00

coefficiente λ_4 1.00

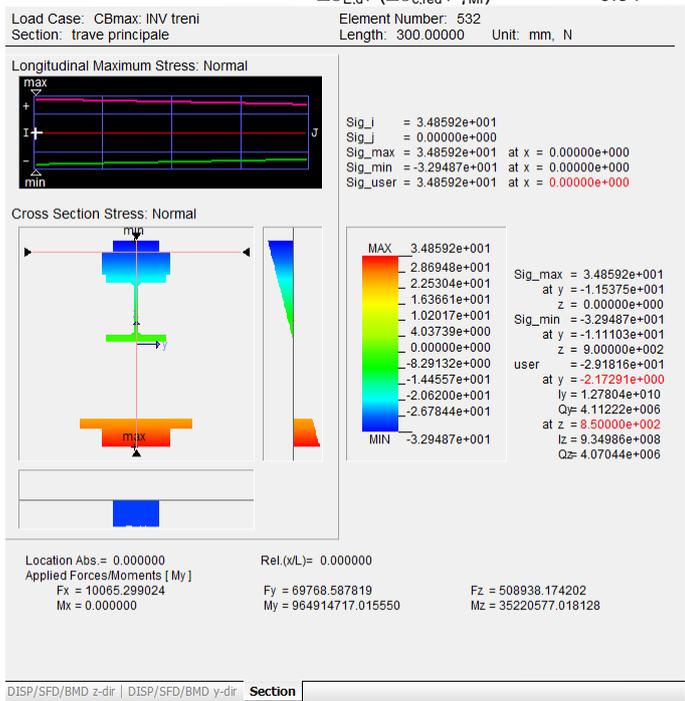
coefficiente λ 0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante $\Delta\sigma_{E,d}$ 22.55 N/mm²

tensione resistente $\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$ 65.47 N/mm²

rapporto $\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$ 0.34 < 1 verificato



Verifica Piatto 4

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²	
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli			
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	34.859 N/mm ²	
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35	
spessore elemento da verificare	t	50 mm	
coefficiente riduttivo	k_s	0.841 <=	1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	105.11 N/mm ²	
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	84.09 N/mm ²	

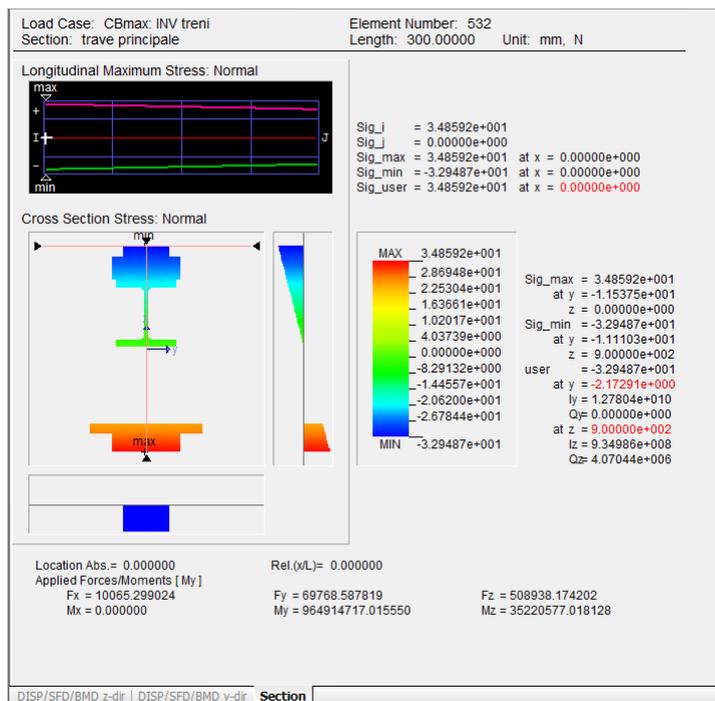
Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00
coefficiente	λ_3	1.00

coefficiente	λ_4	1.00	
coefficiente	λ	0.67	
<u>Verifica a fatica</u>			
tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	26.94 N/mm ²	
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	77.86 N/mm ²	
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.35 <	1 verificato



Trave principale maggiorata

Verifica Piatto 1

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²	
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli			
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	45.784 N/mm ²	
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35	
spessore elemento da verificare	t	120 mm	
coefficiente riduttivo	k_s	0.676 <=	1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	84.45 N/mm ²	
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	67.56 N/mm ²	

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

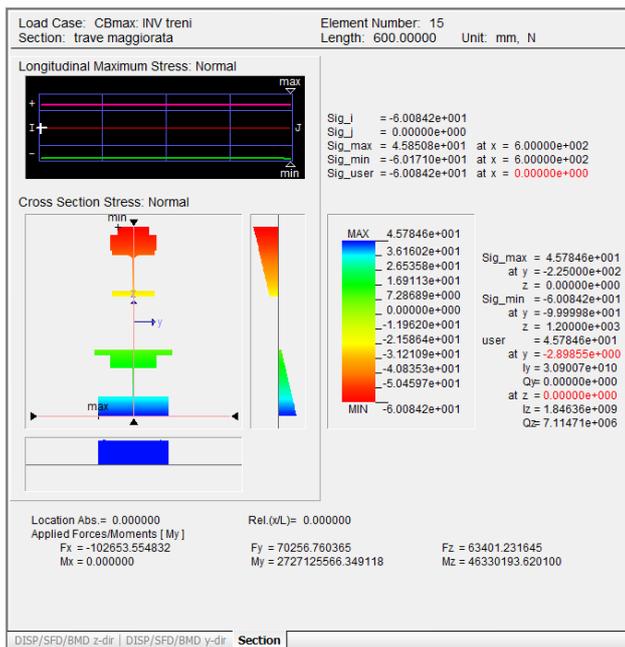
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	35.39 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	62.56 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.57 < 1 verificato



Verifica Piatto anima

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	35.198 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	20 mm
coefficiente riduttivo	k_s	1.000 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	125.00 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	100.00 N/mm ²

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

Calcolo del coefficiente λ

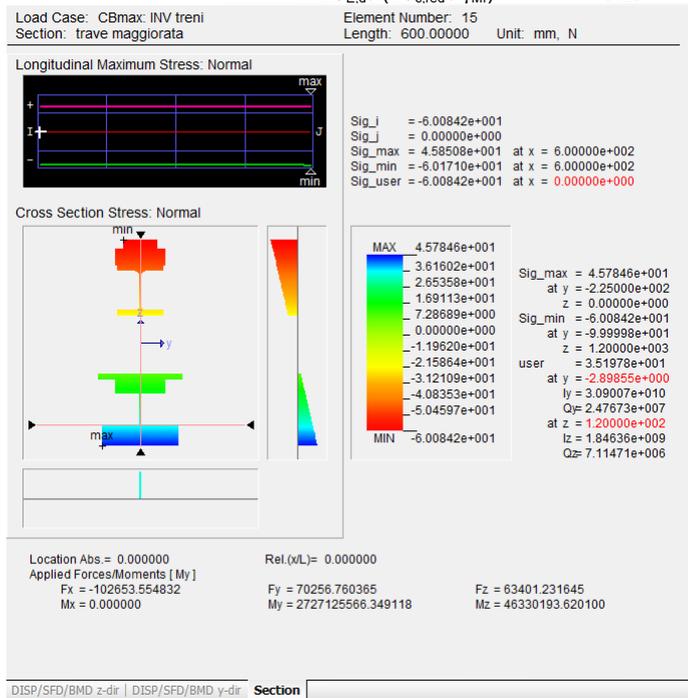
coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	27.20 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	92.59 N/mm ²

rapporto $\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$ 0.29 < 1 verificato



Verifica Piatto 2

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²	
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli			
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	19.317 N/mm ²	
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35	
spessore elemento da verificare	t	80 mm	
coefficiente riduttivo	k_s	0.748	<= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	93.46 N/mm ²	
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	74.77 N/mm ²	

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

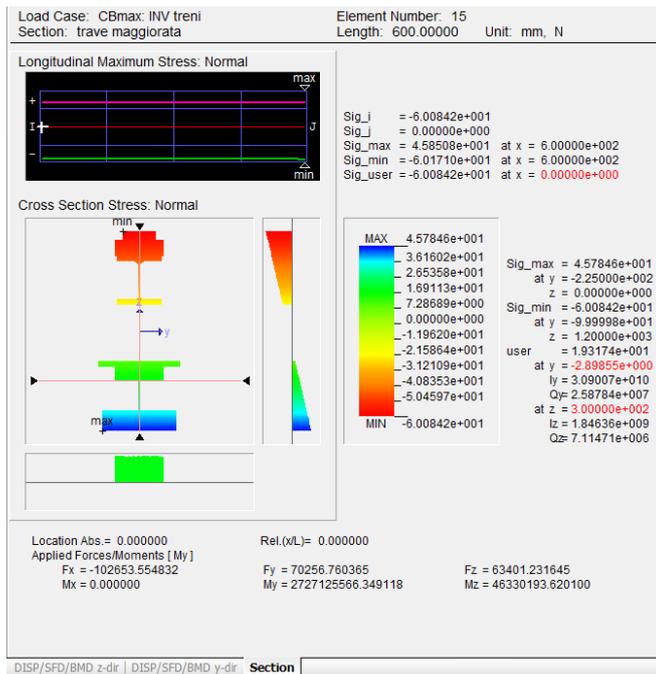
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	14.93 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	69.23 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.22 < 1 verificato



Verifica Piatta 3

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	12.225 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	40 mm
coefficiente riduttivo	k_s	0.889 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	111.14 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	88.91 N/mm ²

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

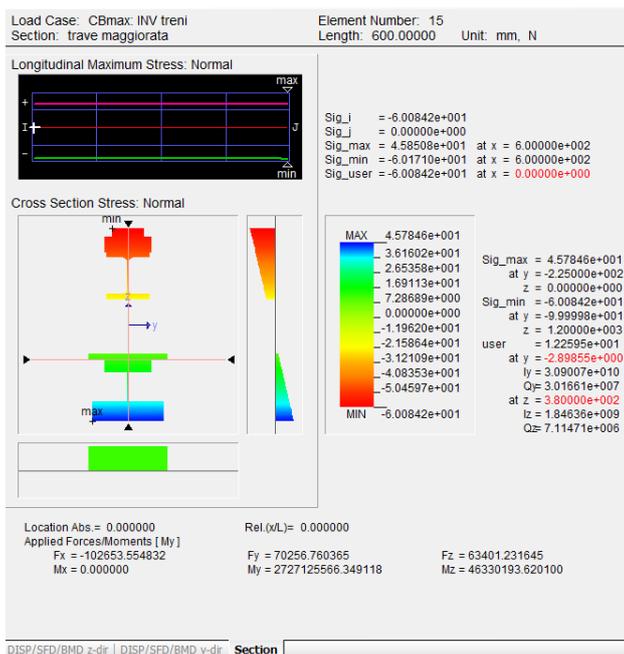
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	9.45 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	82.33 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.11 < 1 verificato



Verifica profilo HEM260

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	140 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	46.85 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	35 mm
coefficiente riduttivo	k _s	0.919 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	128.71 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	91.93 N/mm ²

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L _Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V _N	100

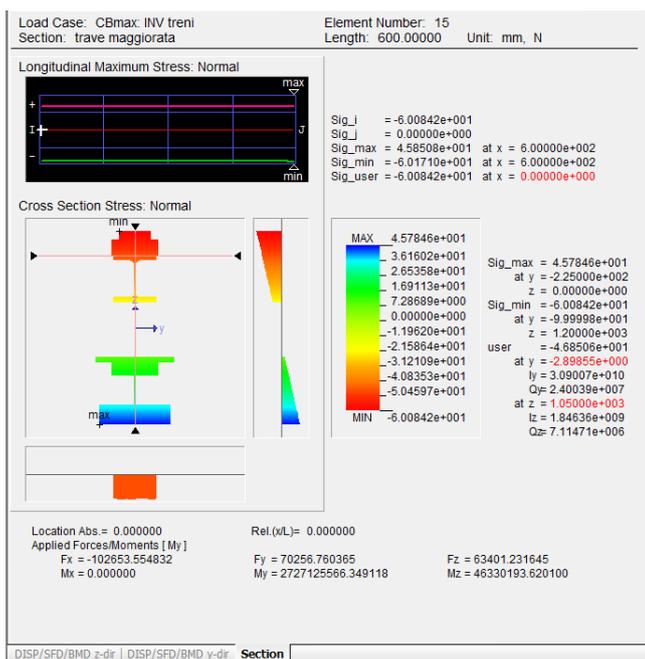
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	36.21 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	95.34 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.38 < 1 verificato



Verifica Piatto 4

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli	$\Delta\sigma_{D4}$	55.673 N/mm ²
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	γ_{Mf}	1.35
coefficiente di sicurezza a fatica	t	100 mm
spessore elemento da verificare	k_s	0.707 <= 1 verificato
coefficiente riduttivo	$\Delta\sigma_{c,red}$	88.39 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	70.71 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta		

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

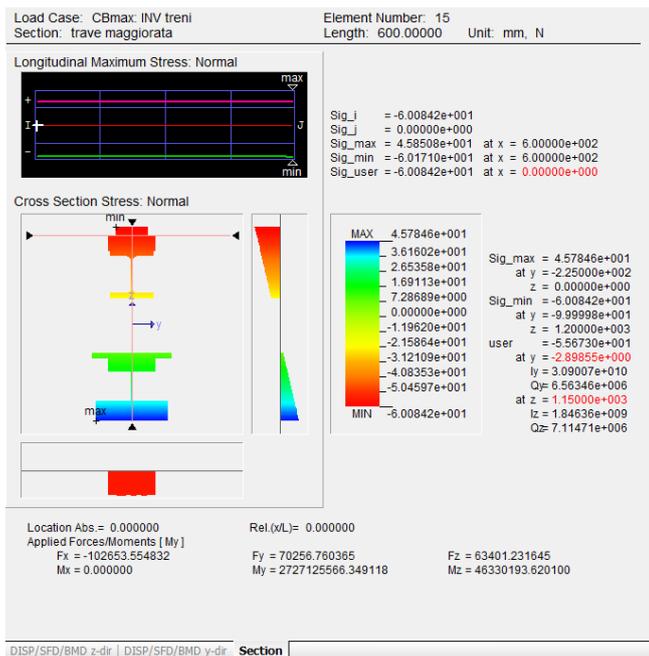
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	43.03 N/mm ²
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	65.47 N/mm ²
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.66 < 1 verificato



Verifica Piatto 5

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	125 N/mm ²
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli		
differenza di tensione dovuta involuppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	60.008 N/mm ²
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1.35
spessore elemento da verificare	t	50 mm
coefficiente riduttivo	k_s	0.841 <= 1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	105.11 N/mm ²
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	84.09 N/mm ²

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	20.40 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1.154
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1.154
volume tonnellate di traffico (10 ⁶ t/anno)	Volume	25
vita utile a fatica	V_N	100

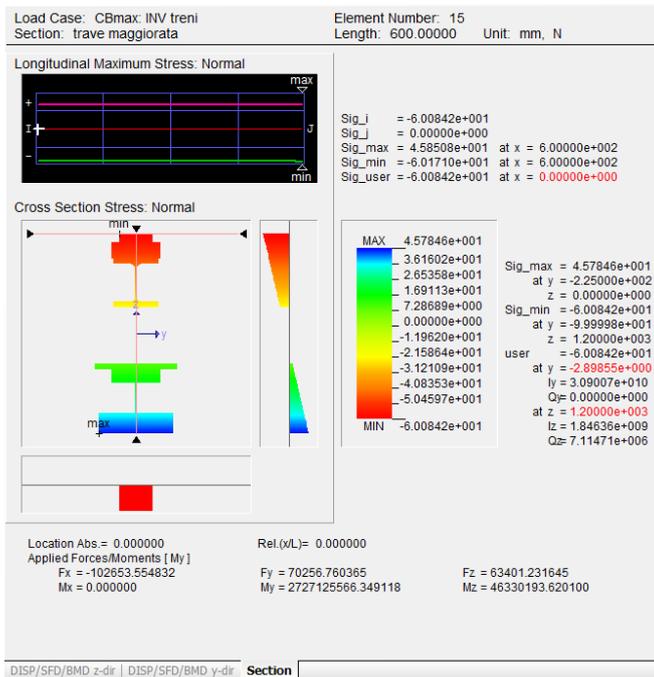
Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	0.67
coefficiente	λ_2	1.00

coefficiente	λ_3	1.00
coefficiente	λ_4	1.00
coefficiente	λ	0.67

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	46.38 N/mm ²	
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	77.86 N/mm ²	
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0.60 <	1 verificato

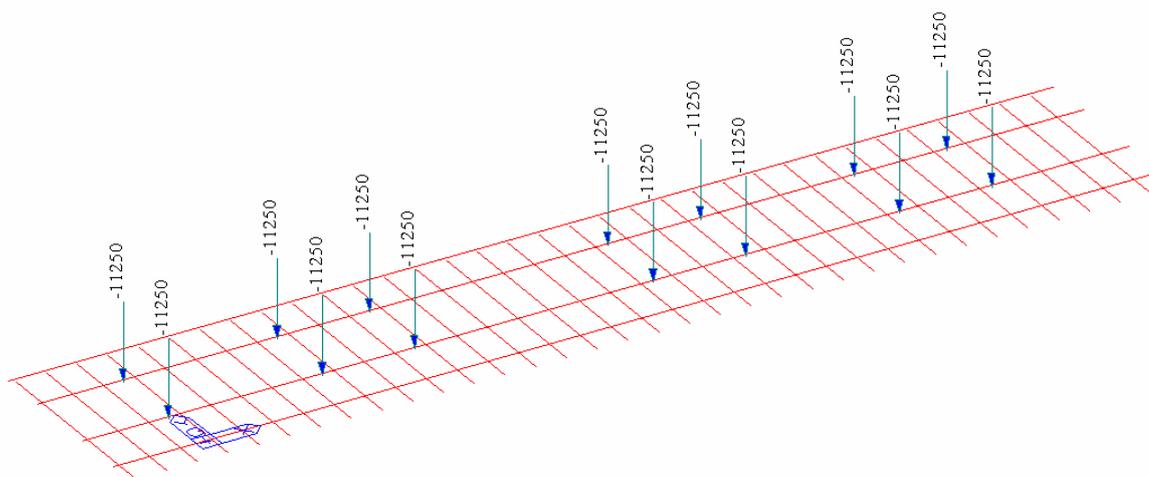


10.2 TRAVI SECONDARIE

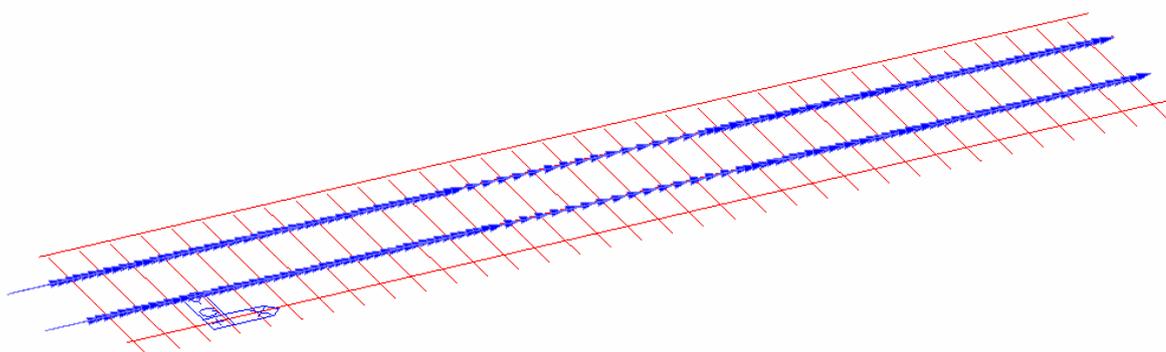
Benchè le travi secondarie siano costituite da profili commerciali HEM 240, quindi facilmente sostituibili ad intervalli di tempo programmato, ed inoltre si stia trattando di un ponte di tipo provvisorio, si svolge comunque di seguito la verifica a fatica delle travi secondarie.

Sollecitazioni nelle travi secondarie:

Condizione di carico: Treno D4 (posizione 15) senza dinamico (poiché aggiunto nelle verifiche successive)



Condizione di carico: frenatura X+ (3.500 kg/m)

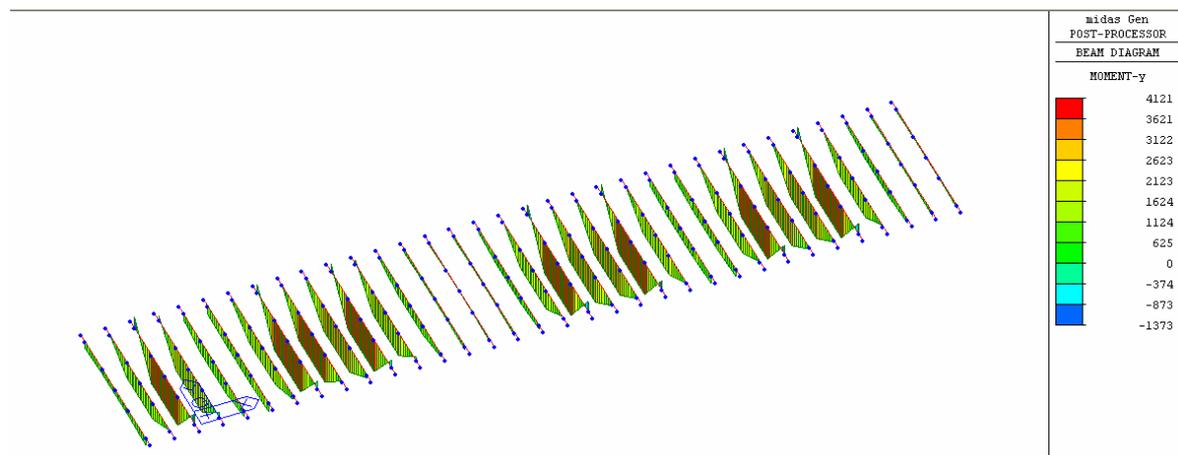


Combinazione di carico considerata:

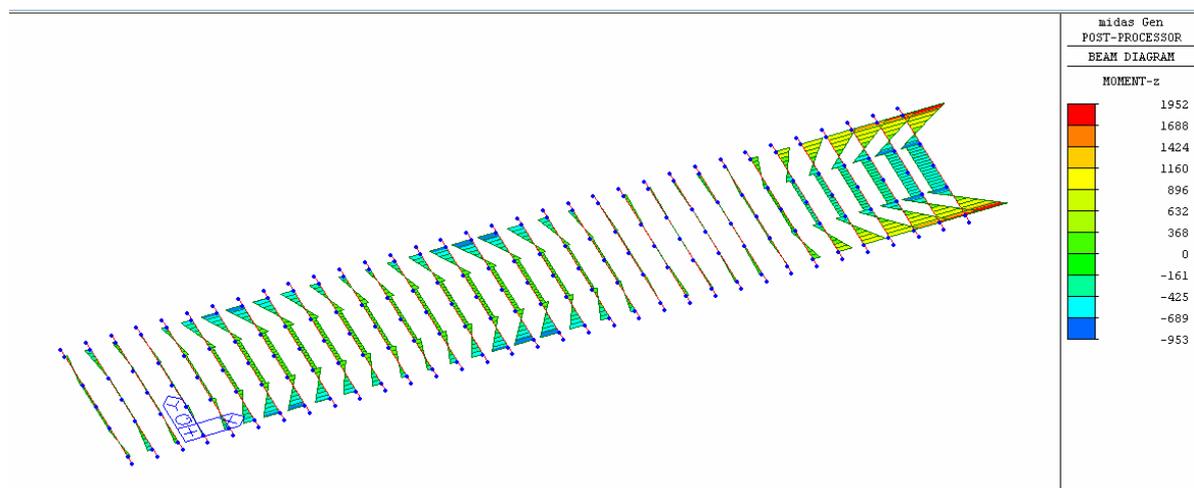
1,00 treno D4

1,00 frenatura X+

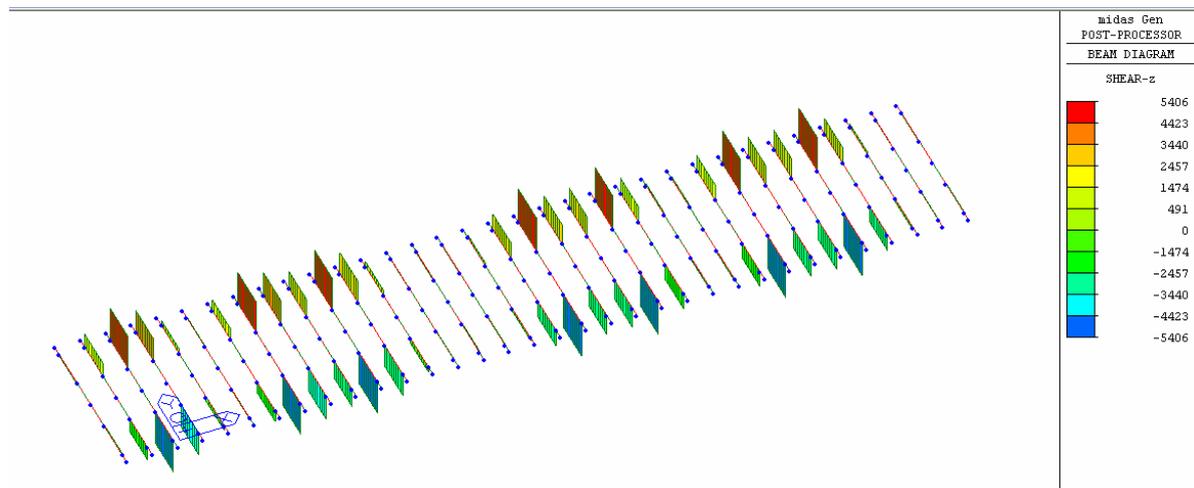
Momento flettente M_y (kgm)



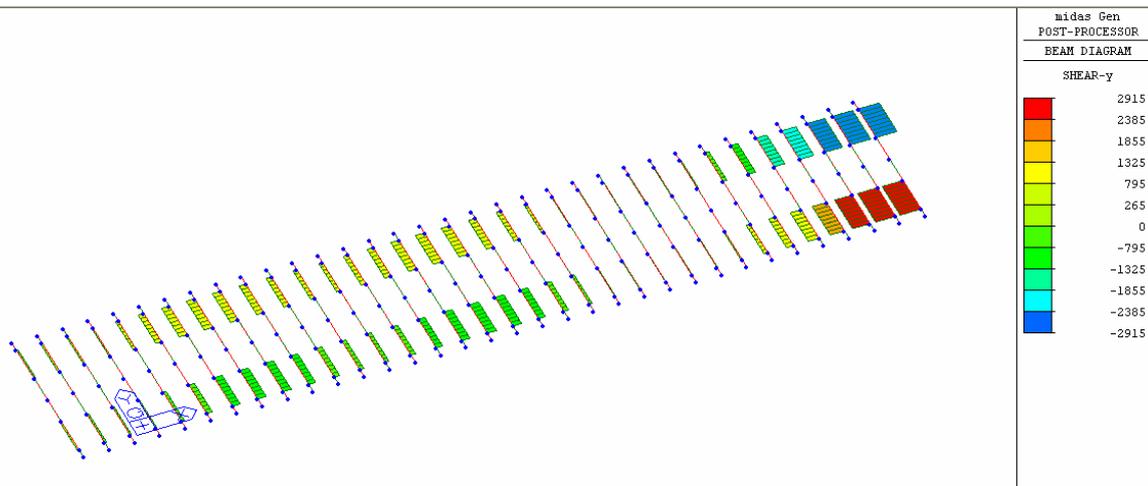
Momento flettente M_z (kgm)



Taglio F_z (kg)

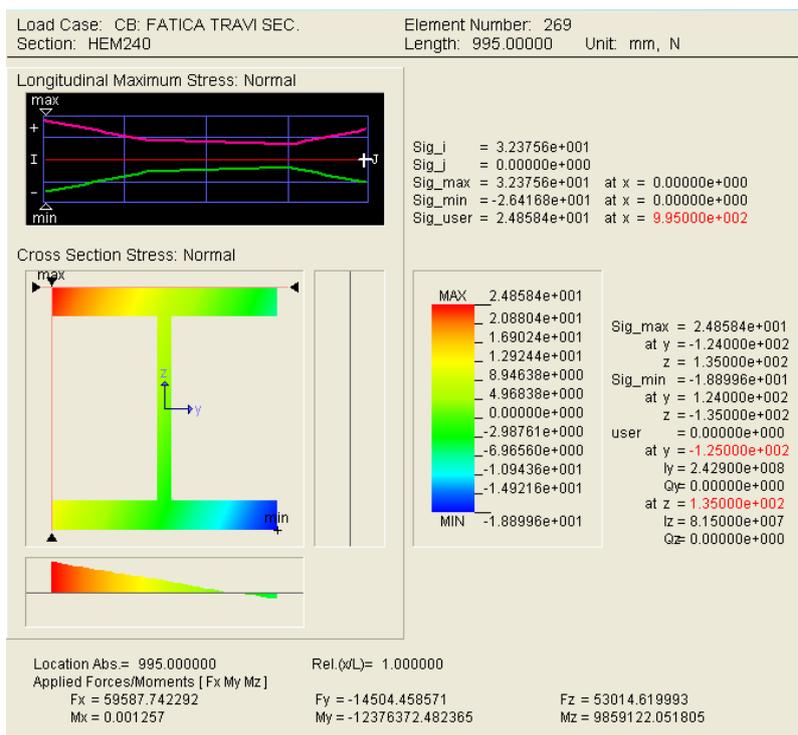


Taglio Fy (kg)

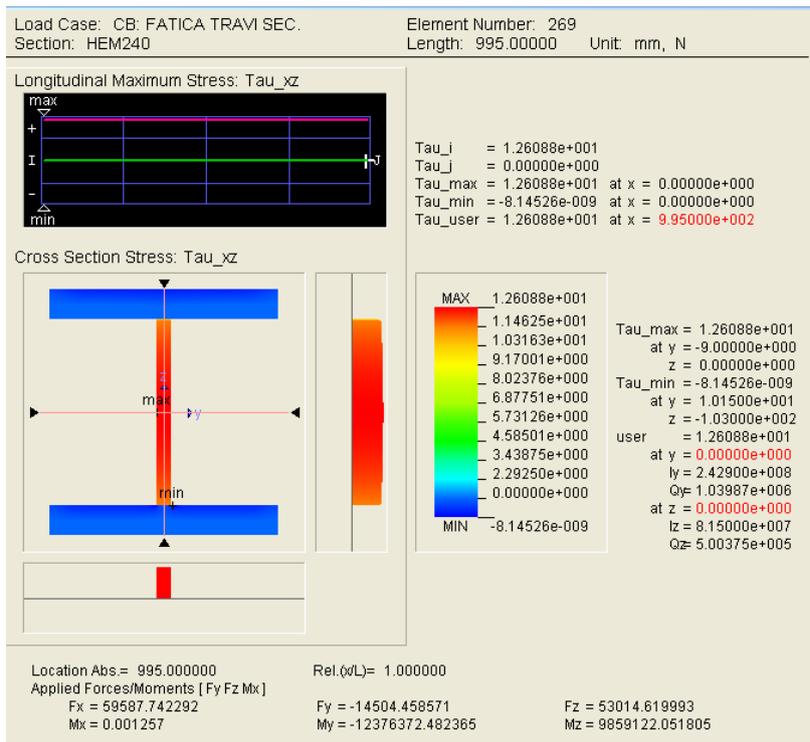


Tensioni nella sezione della HEM 240 più sollecitata:

Tensioni normali (N/mm²)



Tensioni tangenziali (N/mm²)



Per la verifica a fatica delle travi secondarie, vista la foratura delle stesse per il sistema di attacco delle rotaie, si utilizza, per le tensioni normali, la tabella 2.1.d (curva S-N 90) :

Class e del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	requisiti
112		8) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni AR precaricati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda
90		9) Giunti bullonati con coprigiunti doppi e bulloni calibrati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta
		10) Giunti bullonati con coprigiunti singoli e bulloni AR precaricati	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione lorda
		11) Elementi strutturali forati soggetti a forza normale e momento flettente	$\Delta\sigma$ riferiti alla sezione netta

Per i giunti bullonati (dettagli da 8) a 13)) in generale:
Distanza dal bordo $e_1 \geq 1,5d$
Distanza dal bordo $e_2 \geq 1,5d$
spaziatura $s_1 \geq 2,5d$
spaziatura

Verifica a fatica

Dati geometrici e generali

classe del particolare costruttivo	$\Delta\sigma_c$	90 N/mm ²	Tab. 2-1.d
classe del particolare costruttivo	$\Delta\tau_c$	100 N/mm ²	Tab. 2-1.b
resistenza a fatica a 2*10 ⁶ cicli			
differenza di tensione dovuta inviluppo (treno D4)	$\Delta\sigma_{D4}$	24,9 N/mm ²	da modello (vedi immagini)
differenza di tensione dovuta inviluppo (treno D4)	$\Delta\tau_{D4}$	12,6 N/mm ²	da modello (vedi immagini)
coefficiente di sicurezza a fatica	γ_{Mf}	1,35	
spessore elemento da verificare	t	25 mm	
coefficiente riduttivo	k_s	1,000 <=	1 verificato
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\sigma_{c,red}$	90,00 N/mm ²	
classe del particolare costruttivo ridotta	$\Delta\tau_{c,red}$	100,00 N/mm ²	

Calcolo del coefficiente Φ_2

lunghezza caratteristica del ponte	L_Φ	3,64 m
coefficiente di incremento dinamico calcolato	$\Phi_{2,calc}$	1,663
coefficiente di incremento dinamico scelto	Φ_2	1,663

volume tonnellate di traffico (10⁶ t/anno) ▼

vita utile a fatica V_N ▼

Calcolo del coefficiente λ

coefficiente	λ_1	1,17
coefficiente	λ_2	1,00
coefficiente	λ_3	1,00
coefficiente	λ_4	1,00
coefficiente	λ	1,17

Verifica a fatica

tensione sollecitante	$\Delta\sigma_{E,d}$	48,45 N/mm ²	
tensione resistente	$\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf}$	66,67 N/mm ²	
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0,73 <	1 verificato
tensione sollecitante	$\Delta\tau_{E,d}$	24,52 N/mm ²	
tensione resistente	$\Delta\tau_{c,red} / \gamma_{Mf}$	74,07 N/mm ²	
rapporto	$\Delta\sigma_{E,d} / (\Delta\sigma_{c,red} / \gamma_{Mf})$	0,33 <	1 verificato

11. VERIFICA DELLE SALDATURE

La verifica delle saldature viene eseguita in corrispondenza alla sezione di massimo taglio (sezione d'estremità) in concomitanza alla condizione di carico più sfavorevole (permanenti + accidentali).

Le saldature da verificare sono quelle che garantiscono l'unione tra i vari elementi della trave.

Si riporta il calcolo degli sforzi unitari di scorrimento lungo tutte le zone di interfaccia tra i vari elementi costituenti la sezione della trave corrispondenti al valore di taglio massimo in ai vari livelli della sezione di estremità.

Le forze di scorrimento vengono calcolate secondo la classica formulazione di seguito riportata:

$$q = T \times S / J$$

Trave principale

Caratteristiche sezione composta

altezza totale sezione	H	900	mm
area totale sezione composta	A _{tot}	105560	mm ²
somma momenti statici	ΣAi*yi	48955800	mm ³
distanza baricentro dal lembo inferiore	Y _{G,i}	463.77	mm
distanza baricentro dal lembo superiore	Y _{G,s}	436.23	mm
sommatoria dei momenti di inerzia principali	ΣJi ²	355596666.67	mm ⁴
sommatoria dei momenti di inerzia di trasporto	ΣAi*di ²	12424216885	mm ⁴
momento di inerzia totale della sezione	J _{tot}	12779813552	mm ⁴

Calcolo delle tensioni tangenziali ai vari livelli

Taglio sollecitante massimo SLU	T	1106.81	kN
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 1	S ₁	4112277.378	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 2	S ₂	14199109.51	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 3	S ₃	17300470.63	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 4	S ₄	7129936.34	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 5	S ₅	17300470.63	mm ³
scorrimento unitario - livello 1	q ₁	356.15	N/mm
scorrimento unitario - livello 2	q ₂	1229.73	N/mm
scorrimento unitario - livello 3	q ₃	1498.33	N/mm
scorrimento unitario - livello 4	q ₄	617.50	N/mm
scorrimento unitario - livello 5	q ₅	1498.33	N/mm
Taglio sollecitante massimo a fatica	T	604	kN
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 1	S ₁	4112277.378	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 2	S ₂	14199109.51	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 3	S ₃	17300470.63	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 4	S ₄	7129936.34	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 5	S ₅	17300470.63	mm ³
scorrimento unitario a fatica - livello 1	q _{fatica,1}	194.35	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 2	q _{fatica,2}	671.08	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 3	q _{fatica,3}	817.66	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 4	q _{fatica,4}	336.98	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 5	q _{fatica,5}	817.66	N/mm

La sollecitazione massima si ha nel livello 3, quello di unione tra i tronchetti ad asse verticale HEM280 e la trave HEM260 longitudinale.

Trave principale maggiorata

Caratteristiche sezione composta

altezza totale sezione	H	1200	mm
area totale sezione composta	A _{tot}	163160	mm ²
somma momenti statici	ΣAi*yi	84619800	mm ³
distanza baricentro dal lembo inferiore	Y _{G,i}	518.63	mm
distanza baricentro dal lembo superiore	Y _{G,s}	681.37	mm
sommatoria dei momenti di inerzia principali	ΣJi ²	430116666.67	mm ⁴
sommatoria dei momenti di inerzia di trasporto	ΣAi*di ²	30469165119	mm ⁴
momento di inerzia totale della sezione	J _{tot}	30899281786	mm ⁴

Calcolo delle tensioni tangenziali ai vari livelli

Taglio sollecitante massimo SLU	T	1036.43	kN
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 1	S ₁	6563692.081	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 2	S ₂	24004768.33	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 3	S ₃	32489436.14	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 4	S ₄	2325163.52	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 5	S ₅	6612302.53	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 6	S ₆	7723373.38	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 7	S ₇	32489436.14	mm ³
scorrimento unitario - livello 1	q ₁	220.16	N/mm
scorrimento unitario - livello 2	q ₂	805.17	N/mm
scorrimento unitario - livello 3	q ₃	1089.77	N/mm
scorrimento unitario - livello 4	q ₄	77.99	N/mm
scorrimento unitario - livello 5	q ₅	221.79	N/mm
scorrimento unitario - livello 6	q ₆	259.06	N/mm
scorrimento unitario - livello 7	q ₇	1089.77	N/mm
Taglio sollecitante massimo a fatica	T	508.94	kN
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 1	S ₁	6563692.081	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 2	S ₂	24004768.33	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 3	S ₃	32489436.14	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 4	S ₄	2325163.52	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 5	S ₅	6612302.53	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 6	S ₆	7723373.38	mm ³
momento statico rispetto la baricentro sezione intera livello 7	S ₇	32489436.14	mm ³
scorrimento unitario a fatica - livello 1	q _{fatica,1}	108.11	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 2	q _{fatica,2}	395.38	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 3	q _{fatica,3}	535.13	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 4	q _{fatica,4}	38.30	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 5	q _{fatica,5}	108.91	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 6	q _{fatica,6}	127.21	N/mm
scorrimento unitario a fatica - livello 7	q _{fatica,7}	535.13	N/mm

Si riportano le verifiche delle saldature in condizioni ultime e in condizioni di fatica, suddivise tra trave principale e trave maggiorata.

Trave principale

Verifica saldatura (SLU)

livello	q _i (N/mm)	z (mm)	n	a (mm)	l (mm)	Q (kN)	i (mm)	Δτ _{E,d} (N/mm ²)	Δτ _c (N/mm ²)	Δτ _c / γ _{M2}	τ _{E,d} / (Δτ _c / γ _{M2})	
1	356.15	20	2	14	1000	356.15	1000	12.72	294.45	235.56	0.05	< 1 verificato
2	1229.73	20	2	14	1000	1229.73	1000	43.92	294.45	235.56	0.19	< 1 verificato
3	1498.33	18	2	12.6	600	899.00	392	91.01	294.45	235.56	0.39	< 1 verificato
4	617.50	20	2	14	1000	617.50	1000	22.05	294.45	235.56	0.09	< 1 verificato
5	1498.33	20	2	14	1000	1498.33	1000	53.51	294.45	235.56	0.23	< 1 verificato

Verifica saldatura (fatica)

	q _i (N/mm)	z (mm)	n	a (mm)	l (mm)	Q (kN)	i (mm)	Δτ _{E,d} (N/mm ²)	Δτ _c (N/mm ²)	Δτ _c / γ _{Mf}	τ _{E,d} / (Δτ _c / γ _{Mf})	
1	194.35	20	2	14	1000	194.35	1000	6.94	100.00	74.07	0.09	< 1 verificato
2	671.08	20	2	14	1000	671.08	1000	23.97	100.00	74.07	0.32	< 1 verificato
3	817.66	18	2	12.6	600	490.59	392	49.66	100.00	74.07	0.67	< 1 verificato
4	336.98	20	2	14	1000	336.98	1000	12.03	100.00	74.07	0.16	< 1 verificato
5	817.66	20	2	14	1000	817.66	1000	29.20	100.00	74.07	0.39	< 1 verificato

Trave principale maggiorata

Verifica saldatura (SLU)

	q _i (N/mm)	z (mm)	n	a (mm)	l (mm)	Q (kN)	i (mm)	Δτ _{E,d} (N/mm ²)	Δτ _c (N/mm ²)	Δτ _c / γ _{M2}	τ _{E,d} / (Δτ _c / γ _{M2})	
1	220.16	20	2	14	1000	220.16	1000	7.86	294.45	235.56	0.03	< 1 verificato
2	805.17	20	2	14	1000	805.17	1000	28.76	294.45	235.56	0.12	< 1 verificato
3	1089.77	18	2	12.6	600	653.86	392	66.19	294.45	235.56	0.28	< 1 verificato
4	77.99	20	2	14	1000	77.99	1000	2.79	294.45	235.56	0.01	< 1 verificato
5	221.79	20	2	14	1000	221.79	1000	7.92	294.45	235.56	0.03	< 1 verificato
6	259.06	20	2	14	1000	259.06	1000	9.25	294.45	235.56	0.04	< 1 verificato
7	1089.77	20	2	14	1000	1089.77	1000	38.92	294.45	235.56	0.17	< 1 verificato

Verifica saldatura (fatica)

	q _i (N/mm)	z (mm)	n	a (mm)	l (mm)	Q (kN)	i (mm)	Δτ _{E,d} (N/mm ²)	Δτ _c (N/mm ²)	Δτ _c / γ _{Mf}	τ _{E,d} / (Δτ _c / γ _{Mf})	
1	108.11	20	2	14	1000	108.11	1000	3.86	100	74.07	0.05	< 1 verificato
2	395.38	20	2	14	1000	395.38	1000	14.12	100	74.07	0.19	< 1 verificato
3	535.13	18	2	12.6	600	321.08	392	32.50	100	74.07	0.44	< 1 verificato
4	38.30	20	2	14	1000	38.30	1000	1.37	100	74.07	0.02	< 1 verificato
5	108.91	20	2	14	1000	108.91	1000	3.89	100	74.07	0.05	< 1 verificato
6	127.21	20	2	14	1000	127.21	1000	4.54	100	74.07	0.06	< 1 verificato
7	535.13	20	2	14	1000	535.13	1000	19.11	100	74.07	0.26	< 1 verificato

12. VERIFICHE AGLI SLE

12.1 STATO LIMITE PER LA SICUREZZA DEL TRAFFICO FERROVIARIO

Accelerazioni verticali dell'impalcato

Questa verifica è richiesta per opere sulle quali la velocità di esercizio è superiore ai 200 km/h o quando la frequenza propria della struttura non è compresa nei limiti indicati nella fig. 1.4.2.4-2.

Nel nostro caso la velocità di percorrenza è di 80 km/h e la frequenza propria, pari a 6,33 Hz (e luce di 20,40 m) è compresa nei limiti indicati nella figura 1.4.2.4-2 sottoriportata.

Il limite superiore di n_0 è caratterizzato da:

$$n_0 = 94,76L^{-0,748} \quad (1.4.2.4.1)$$

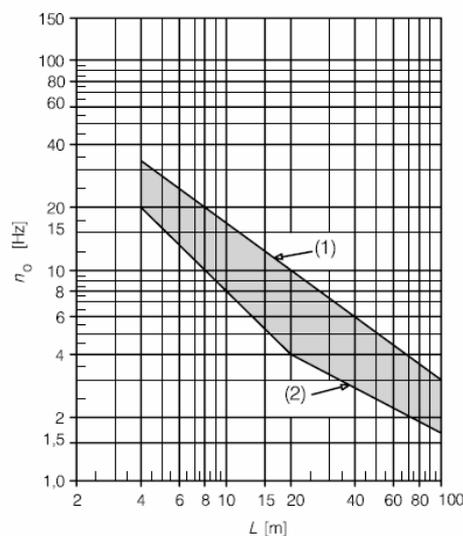
ed il limite inferiore è dato da:

$$n_0 = 80/L \quad \text{per } 4\text{m} \leq L \leq 20\text{m}$$

$$n_0 = 23,58L^{-0,592} \quad \text{per } 20\text{m} < L \leq 100\text{m} \quad (1.4.2.4.2)$$

dove:

- n_0 è la prima frequenza naturale flessionale del ponte
- L è la luce della campata per ponti in semplice appoggio oppure L_{Φ} per ponti continui.



(1) Limite superiore della frequenza naturale
(2) Limite inferiore della frequenza naturale

Fig. 1.4.2.4-2 – Limiti della frequenza naturale del ponte n_0 [Hz] in funzione di L [m]

Deformazioni torsionali dell'impalcato

Il massimo sghembo, misurato su una lunghezza di 3 m e considerando le rotaie solidali all'impalcato non deve eccedere, per una velocità di percorrenza $V \leq 120$ km/h, il valore $t \leq 4,5$ mm/3m. Nel nostro caso, ponte in semplice appoggio, ad un solo binario, perfettamente simmetrico, lo sghembo risulta pari a zero.

Inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato

Considerando la presenza del treno di carico D4, incrementato con il corrispondente coefficiente dinamico, l'azione del vento, la forza laterale (serpeggio), gli effetti della variazione di temperatura lineare di 10° fra le superfici laterali più esterne dell'impalcato, l'inflessione nel piano orizzontale dell'impalcato non deve produrre una variazione angolare maggiore di quella fornita nella successiva tabella né un raggio di curvatura orizzontale minore del valore di cui alla stessa tabella.

Il raggio di curvatura, nel caso di impalcato a semplice appoggio, è dato dalla espressione $R=L^2/(8\delta_h)$ dove δ_h rappresenta la freccia orizzontale.

Tabella 5.2.VIII - Massima variazione angolare e minimo raggio di curvatura

Velocità [km/h]	Variazione Angolare massima	Raggio minimo di curvatura	
		Singola campata	Più campate
$V \leq 120$	0,0035 rd	1700 m	3500 m
$120 < V \leq 200$	0,0020 rd	6000 m	9500 m
$200 < V$	0,0015 rd	14000 m	17500 m

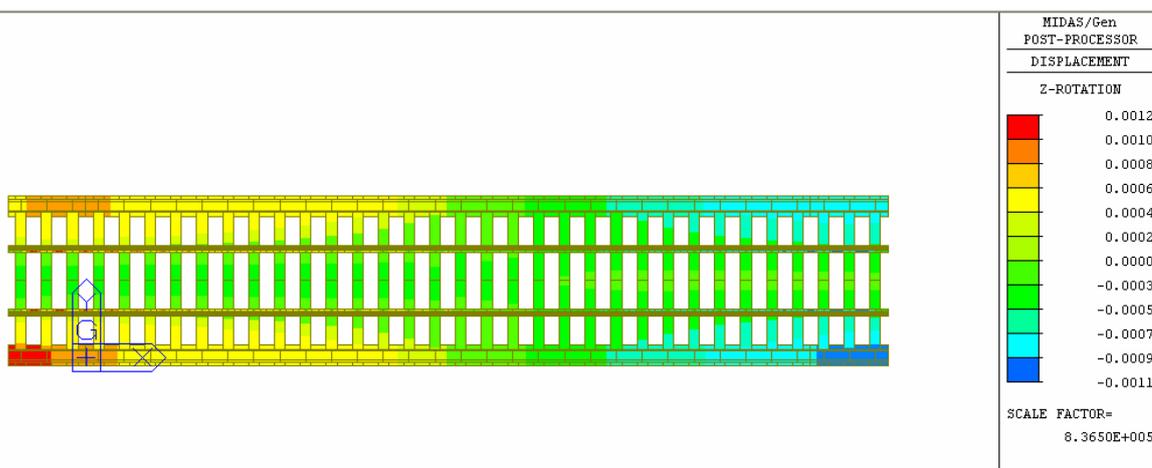
La combinazione di carico considerata è la seguente (combinazione caratteristica rara degli SLE) :

1,00 azione del vento

0,60 forza laterale (serpeggio)

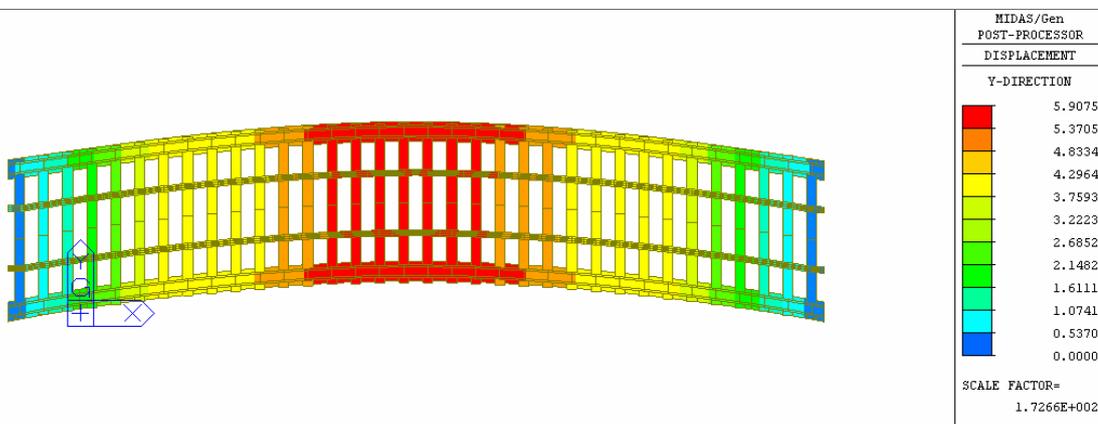
0,60 variazione di temperatura fra superfici laterali esterne dell'impalcato

La variazione angolare è riportata come mappa a colori nell'immagine seguente (valori in radianti)



valore massimo 0,0012 rad (inferiore all'ammissibile).

La freccia orizzontale è riportata nell'immagine seguente (valori in mm):



freccia massima 5,9 mm.

Raggio di curvatura $R=L^2/(8\delta_h)$ dove δ_h rappresenta la freccia orizzontale

$$R= 20.400^2 / (8 \times 5,9) = 8.816.949 \text{ mm} = 8.817 \text{ m} \text{ (maggiore del raggio minimo ammissibile).}$$

12.2 STATO LIMITE PER IL COMFORT DEI PASSEGGERI

Il comfort di marcia per i passeggeri è controllato limitando i valori della freccia verticale come definito al paragrafo 1.8.3.2.2.3 della Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A.

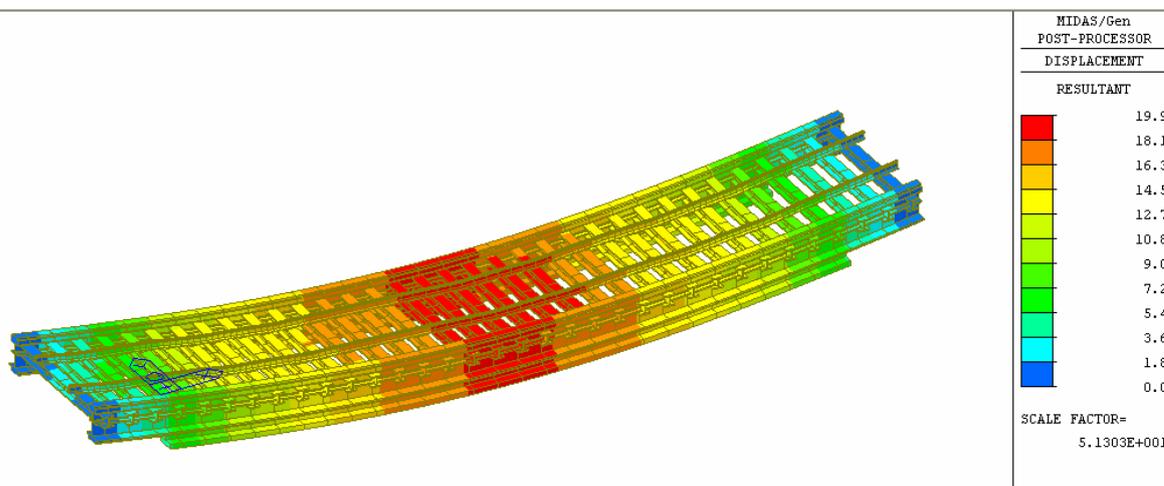
Nella figura 1.8.3.2.2-2 ivi riportata, sono riportati i valori del limite di deformabilità validi per impalcati semplicemente appoggiati corrispondenti all'accelerazione ammissibile verticale pari a $b_v=1\text{m/s}^2$ in carrozza.

Da tale figura, per una velocità minore di 160 km/h, luce del ponte di 20,40 m, ponte a singola luce, si ottiene un valore del limite di deformabilità L/δ pari a $0,7 \times 1050 = 735$.

In ogni caso si prescrive però che L/δ non potrà essere inferiore a 1000, che quindi è il limite che si considererà nel seguito.

L'inflexione verticale viene calcolata in asse al binario, considerando il carico di categoria D4 con il relativo incremento dinamico.

Deformata con carico D4 + dinamico (carri in posizione 13 -, valori in mm)



Dal modello di calcolo l'abbassamento η in asse al binario risulta essere pari a **19,9 mm**.

Rispetto alla luce del ponte, l'abbassamento risulta: $20400 / 19,9 = L / 1025 < L / 1000$

13. VALIDAZIONE CODICE DI CALCOLO E GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI

Come validazione del codice di calcolo e giudizio motivato di accettabilità dei risultati si riporta di seguito il calcolo svolto “manualmente” della trave principale, in semplice appoggio, soggetta ai carichi dovuti al peso proprio, ai carichi permanenti e al carico dei carri di categoria D4 (con coefficiente dinamico).

Il peso proprio della singola trave principale vale: $0,1638 \times 8635 = 1414 \text{ kg/m} = 14,14 \text{ kN/m}$

Il carico permanente (rotaie, attacchi, traversine) di pertinenza della singola trave principale vale: $3,1 \text{ kN/m}$

Il carico permanente delle travi secondarie (HEM 240 peso $1,57 \text{ kN/m}$, lunghezza circa $3,9 \text{ m}$, interasse $0,60 \text{ m}$) di pertinenza della singola trave principale vale:

$$1,57 \times 3,90 / (2 \times 0,6) = 5,1 \text{ kN/m}$$

Il carico dovuto al vento sulla singola rotaia vale (si veda il capitolo relativo all'analisi dei carichi): $\pm 13,2 \text{ kN/m}$, quindi sulla singola trave principale il carico vale:

$$(13,2 \times 1,00 - 13,2 \times 2,50) / 3,50 = \pm 5,7 \text{ kN/m}$$

Il carico dovuto ai carri di categoria D4 viene considerato come carico distribuito pari a 80 kN/m che, incrementato del coefficiente dinamico (pari a $1,33$) diventa:

$$80 \times 1,33 = 106,4 \text{ kN/m}$$

Per la singola trave principale il carico vale quindi: $106,4 / 2 = 53,2 \text{ kN/m}$

La combinazione dei carichi allo Stato Limite Ultimo porta ad un carico uniformemente distribuito di:

$$1,35 \times 14,14 + 1,5 \times (3,1 + 5,1) + 1,45 \times 53,2 + 1,5 \times 0,6 \times 5,7 = 113,7 \text{ kN/m}$$

Luce di calcolo della trave principale: $20,40 \text{ m}$

Momento flettente

$$M = 113,7 \times 20,40^2 / 8 = 5915 \text{ kNm}$$

Rispetto al modello di calcolo ($M = 592.356 \text{ kgm}$) la differenza è inferiore all' 1%.

14. AZIONI IN CORRISPONDENZA DEGLI APPOGGI IN ELASTOMERO ARMATO

Gli appoggi sono del tipo in elastomero armato (tipo Elastofip) e sono stati inseriti nel modello di calcolo come molle elastiche di rigidezza pari a quella fornita dal produttore per tale tipo di appoggio.

Avendo supposto di utilizzare appoggi Elastofip EF 122-11, la rigidezza verticale è pari a 449 kN/mm, mentre quella orizzontale è pari a 2,80 kN/mm.

Le azioni risultanti sugli appoggi vengono di seguito valutate riferendosi alle combinazioni allo Stato Limite Ultimo con i coefficienti parziali di amplificazione e combinazione di seguito riportati:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad (2.5.1)$$

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α , ecc...)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tabella 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	Ξ_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	Ξ_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	Ξ_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	Ξ_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	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 azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Come definito al punto 1.4.4.1 della Specifica RFI DTC INC PO SP IFS 001 A, per il calcolo degli apparecchi di appoggio, la variazione di temperatura $DT = \pm 25^\circ C$ è stata incrementata del 50% (ottenendo $DT = \pm 37,5^\circ C$).

Si sono quindi considerate le seguenti combinazioni di carico:

Massima reazione verticale nell'appoggio:

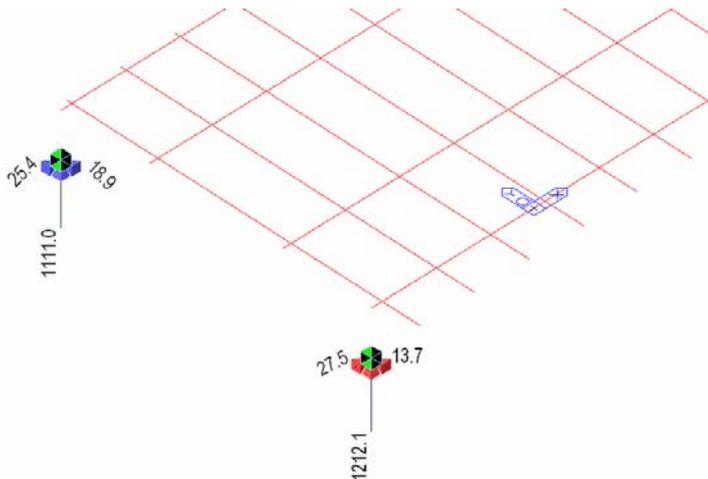
1,35 x (peso proprio)

1,50 x (permanenti)

1,45 x (1,00 treno pos.16 + 1,00 serpeggio Y(-) + 0,50 frenatura X(-))

1,50 x (0,6 vento Y(-))

Reazione verticale : 1212,1 kN



Massima reazione longitudinale nell'appoggio:

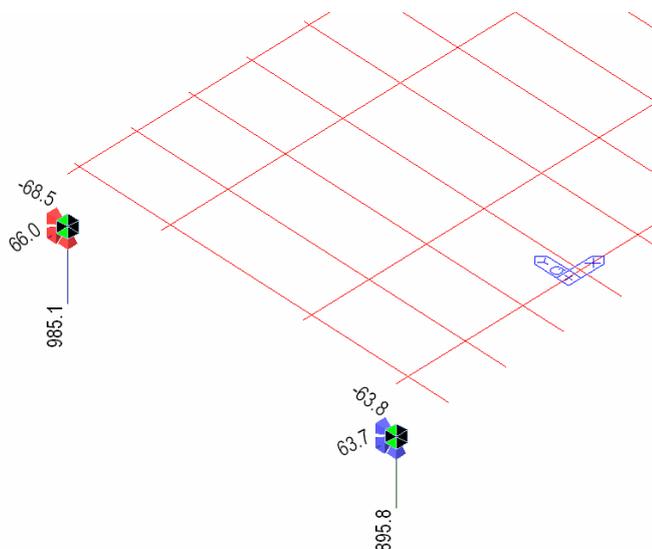
1,35 x (peso proprio)

1,50 x (permanenti)

1,50 x (0,6 vento Y(+) + termico +37,5 °C)

1,45 x 0,8 x (1,00 treno pos.18 + 0,50 serpeggio Y(+) + 1,00 frenatura X(-))

Reazione longitudinale : 66,0 kN



La reazione massima longitudinale è concomitante con una laterale di 68,5 kN; la reazione orizzontale risultante è pari a:

$$H = \sqrt{(66,0^2 + 68,5^2)} = \mathbf{95,1 \text{ kN}}$$

Massima reazione laterale nell'appoggio:

1,00 × (peso proprio)

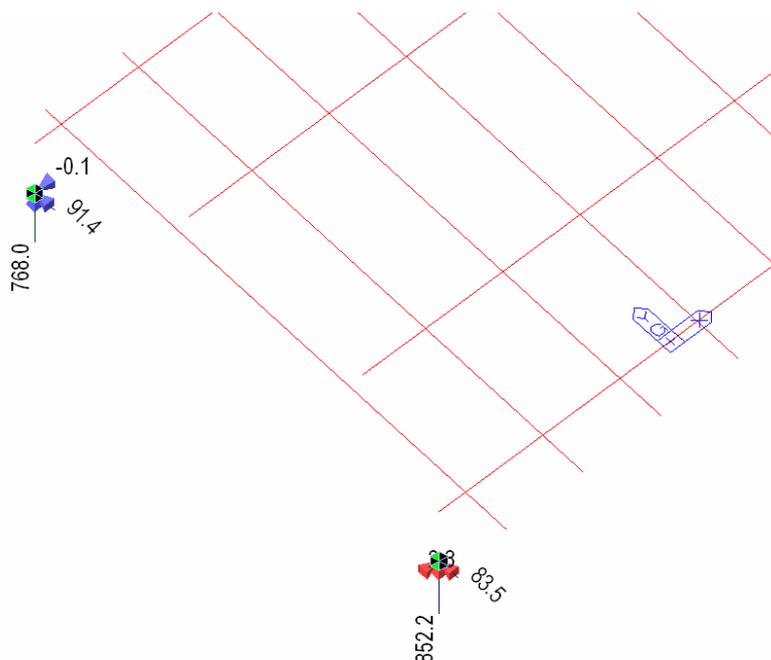
1,00 × (permanenti)

1,00 × (treno pos.16)

1,45 × (1,00 serpeggio Y(-))

1,50 × (0,6 vento Y(-) + 0,6 termico -37,5°C)

Reazione laterale : 91,4 kN



La reazione massima laterale è concomitante con una longitudinale di 0,1 kN; la reazione orizzontale risultante è pari a:

$$H = \sqrt{(91,4^2 + 0,1^2)} = \mathbf{91,4 \text{ kN}}$$

Le sollecitazioni sopra determinate allo Stato Limite Ultimo sono compatibili con l'appoggio inizialmente scelto, Elastofip EF 122-11, come risulta dalle verifiche di seguito riportate.

14.1 VERIFICA DEGLI APPOGGI

Verifica appoggi elastomerici armati rettangolari secondo UNI EN 1337-3
Ponte GUI.DO luce 20,40 m

Sigla appoggio: **EF 122 - 11**

Tipologia

Tipo: _____ c _____

paragrafo rif.
5.3.2

Carichi - deformazioni - rotazioni

Carico normale massimo	F_z ULS	1212	KN	
Forza orizzontale massima applicata (sismica)	H_{max} ULS	95	KN	
Carico normale concomitante con H_{max} ULS	F_z min ULS	768	KN	
Spostamento massimo non dovuto a carichi orizzontali (+/-)	v ULS	5	mm	
Spostamento nella direzione del lato lungo o del lato corto (L/C) ?		c		
Rotazione totale	α ULS	0,017	rad	
Rotazione attorno al lato lungo o al lato corto (L/C) ?		L		
Fattore del tipo di carico	K_L	1,0		5.3.3
Fattore di sicurezza	γ_m	1,0		5.3.3
Ancoraggi meccanici (s/n) ?		s		
Appoggio a contatto con acciaio (a), calcestruzzo (c), con entrambi (s) ?		s		
Coefficiente di attrito acciaio - acciaio	μ_{a-a}	0,00		
Coefficiente di attrito acciaio - calcestruzzo per appoggio con ancoraggi meccanici	μ_{a-c}	0,00		
Tipo di ancoraggio superiore (P / V / Z)		P		
Tipo di ancoraggio inferiore (P / V / Z)		Z		
Spine/zanche tipo (1,2,3,4)?		s		
Quantità di ancoraggi inferiori		2	n	

Caratteristiche

Lato minore appoggio	a	350	mm	
Lato maggiore appoggio	b	400	mm	
Spessore ricoprimento lamierini	r_{lam}	5	mm	min 4 5.3.2
Lato minore lamierini	a'	340	mm	
Lato maggiore lamierini	b'	390	mm	
Spessore strati ricoprimento esterno	t_{ext}	0,0	mm	5.3.3
Spessore piastra d'acciaio superiore (interna al nucleo)	$t_{s ext}$	20	mm	
Spessore piastra d'acciaio inferiore (esterna al nucleo)	$t_{inf ext}$	20	mm	
Lato piastra inferiore direzione lato minore appoggio	X	370	mm	
Lato piastra inferiore direzione lato maggiore appoggio	Y	530	mm	
Tensione di snervamento acciaio lamierini	f_y	275	MPa	
Modulo di elasticità statico a taglio	G_g	0,90	MPa	4.3.1.1
Numero strati in gomma (tutti dello stesso spessore)	n	3	n	
Spessore singolo strato gomma	t_i	15	mm	
Spessore totale gomma	T_g	45,0	mm	
Spessore totale di calcolo della gomma	T_{q1}	45,0	mm	
Spessore armature in S275JR	t_s	2	mm	min 2 5.3.3.5
Fattore delle tensioni di trazione indotte	K_{nt}	1		5.3.3.5
Fattore di correzione delle tensioni	K_p	1,3		5.3.3.5
Fattore di limitazione della rotazione	K_r	3,0		5.3.3.5
Fattore per la determinazione del coefficiente di attrito	K_f	0,0		5.3.3.6
Fattore per la determinazione della resistenza alla rotazione	K_s	82,1		5.3.3.7
Modulo di Bulk	E_D	2000	MPa	5.3.3.7
Altezza totale comprese piastre superiore e inferiore	h_{tot}	89	mm	

Sigla appoggio: EF 122 - 11

Volume nucleo (esclusa piastra inferiore vulcanizzata)	Vol	9,66	dm ³
Rigidzza verticale = F_z / v_c	K_v	449	KN/mm
Rigidzza a taglio = $G_0 \cdot A / T_e$	K_h	2,80	kN/mm

Calcoli

Area appoggio	A_{app}	140000	mm ²	5.3.3.1
Area lamierino	$A_l = A'$	132600	mm ²	5.3.3.1
Linea laterale appoggio	l_p	1460	mm	5.3.3.1
Superficie laterale totale del singolo strato di gomma interno = $l_p \cdot t_i$	L_{int}	21900	mm ²	5.3.3.1
Superficie laterale di calcolo strato di gomma ext (se presente) = $l_p \cdot t_{ext}$	L_{ext}	0	mm ²	5.3.3.1
Fattore di forma strati interni = A_i / L_{int}	$S_{int} = S_i$	6,05		5.3.3.1
Fattore di forma strati esterni = A_e / L_{ext}	S_{ext}	0,0		
Area ridotta soggetta al carico	A_r	117418	mm ²	5.3.3.2
Reazione antagonista (forza orizzontale dovuta allo spostamento)	R_{xy}	14,00	kN	5.3.3.7
Forza orizzontale totale	$H_{max tot}$	109,00	kN	
Spostamento dovuto ad $H_{max ULS}$	v_H	33,93	mm	
Spostamento massimo totale (+/-)	$v_{max ULS}$	38,93	mm	
Pressione media sotto il carico $F_z min ULS$	σ_m	6,54	MPa	5.3.3.6
Coefficiente di attrito	μ_e	0,00		5.3.3.6
Resistenza alla rotazione	M	32631	kNm	5.3.3.7

Verifiche

Deformazione di taglio della gomma dovuta alla compressione	ϵ_c	2,841		5.3.3.2
Deformazione di taglio della gomma dovuta allo spostamento	ϵ_q	0,865	max 1	5.3.3.3
Deformazione della gomma dovuta alla rotazione angolare	ϵ_a	1,456		5.3.3.4
Deformazione totale = $K_L \cdot (\epsilon_c + \epsilon_q + \epsilon_a)$	ϵ_t	5,162	max 7	5.3.3
Spessore minimo sui lamierini d'acciaio = $K_p \cdot F_z \cdot 2t_i \cdot K_h \cdot \gamma_m / (A_r \cdot f_y)$	$t_{s min}$	2,00	mm	5.3.3.5
Pressione	F_z / A_r	10,32	MPa	< 27,45
Pressione ammissibile = se circolare $2 \cdot D' \cdot G \cdot S_l / (3 \cdot T_e)$ / se rettangolare $2 \cdot a' \cdot G \cdot S_l / (3 \cdot T_e)$		27,45	MPa	5.3.3.6
Abbassamento singolo strato interno = $F_z \cdot t_i / A' \cdot (1 / (5 \cdot G \cdot S_i^2) + 1 / E_b)$	v_i	0,8996	mm	5.3.3.7
Abbassamento strato esterno se presente = $F_z \cdot t_e / A' \cdot (1 / (5 \cdot G \cdot S_{ext}^2) + 1 / E_b)$	v_{ext}	0,0000	mm	5.3.3.7
Abbassamento = $F_z \cdot T_e / A' \cdot (1 / (5 \cdot G \cdot S_i^2) + 1 / E_b)$	v_c	2,699	mm	> 1,93
Abbassamento minimo ammissibile (limite alla rotazione)		1,93	mm	5.3.3.6
Carico orizzontale massimo	F_{xy}	109	KN	
Condizione antiscivolamento: $F_{xy} \leq \mu_e \cdot F_z min ULS$		0	kN	5.3.3.6
Pressione uniforme massima: $F_z ULS / A'$	σ_{max}	9,14	kN	

15. STRUTTURE DI FONDAZIONE

Per quanto riguarda il dimensionamento delle strutture di fondazione, questo dovrà essere effettuato di volta in volta in modo da progettare le opere fondazionali in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti in sito e facendo riferimento alla Specifica RFI DTC INC CS SP IFS 001 A “Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie” e al D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e Circolare Applicativa 2 febbraio 2009 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.

Al fine di illustrare i criteri di verifica che dovranno essere adottati in fase di progetto delle opere di fondazione, di seguito si riporta il “calcolo tipo” ipotizzando una fondazione in terreni sabbiosi costituita da n. 2 pali Jet grouting di diametro reso pari a 60 cm armati con tubolare in acciaio (φ168,3mm –sp.10mm).

Per il dimensionamento geotecnico (GEO) allo Stato Limite Ultimo dei pali di fondazione si utilizza l’ “Approccio 2” combinazione A1+M1+R3 con i coefficienti parziali γ per le azioni riportati nella seguente tabella:

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_p	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
⁽⁵⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Nella Tab. 5.2.V 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_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Per i coefficienti di combinazione ψ si fa riferimento alla seguente tabella:

Tabella 5.2.VI - Coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	ψ_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	ψ_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	ψ_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	ψ_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	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 azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

con i gruppi di carico di seguito riportati:

Tabella 5.2.IV - Valutazione dei carichi da traffico

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	-	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

■ Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (ϕ, α , ecc...)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Si sono quindi considerate le seguenti combinazioni di carico:

Massima reazione verticale:

$1,35 \times (\text{peso proprio})$

$1,50 \times (\text{permanenti})$

$1,45 \times (1,00 \text{ treno pos.16} + 1,00 \text{ serpeggio Y(+)} + 0,50 \text{ frenatura X(-)})$

$1,50 \times (0,6 \text{ vento Y(-)})$

Reazione verticale : $F = 1212,1 \text{ kN}$

Massima reazione longitudinale:

$1,35 \times (\text{peso proprio})$

$1,50 \times (\text{permanenti})$

$1,50 \times (0,6 \text{ vento Y(+)} + \text{termico} +25 \text{ }^\circ\text{C})$

$1,45 \times 0,8 \times (1,00 \text{ treno pos.18} + 0,50 \text{ serpeggio Y(+)} + 1,00 \text{ frenatura X(-)})$

Reazione longitudinale : 66,0 kN

La reazione massima longitudinale è concomitante con una laterale di 68,5 kN; la reazione orizzontale risultante è pari a:

$$H = \sqrt{(66,0^2 + 68,5^2)} = \mathbf{95,1 \text{ kN}}$$

Massima reazione laterale

1,00 × (peso proprio)

1,00 × (permanenti)

1,00 × (treno pos.16)

1,45 × (1,00 serpeggio Y(-))

1,50 × (0,6 vento Y(-) + 0,6 termico -25 °C)

Reazione laterale : 91,4 kN

La reazione massima laterale è concomitante con una longitudinale di 0,1 kN; la reazione orizzontale risultante è pari a:

$$H = \sqrt{(91,4^2 + 0,1^2)} = \mathbf{91,4 \text{ kN}}$$

La massima azione verticale allo SLU trasmessa alla fondazione dalla singola trave è pari a: $F = 1212,1 \text{ kN}$, mentre la massima azione orizzontale è pari a $H = 95,1 \text{ kN}$.

La massima forza verticale agente sul singolo palo è quindi pari a $F = 1212,1 / 2 = 606 \text{ kN}$, mentre la massima forza orizzontale è pari a $H = 95,1 / 2 = 48 \text{ kN}$.

I pali Jet grouting hanno un diametro di 60 cm mentre la lunghezza è funzione del tipo di terreno presente nel sito di realizzazione della fondazione; si suppone nel seguito di utilizzare pali di 14 m di lunghezza.

Di seguito si riporta una verifica di portanza ipotizzando la presenza di un terreno con le seguenti caratteristiche:

- terreno: sabbie
- angolo di attrito (cautelativo): 33°
- peso di volume terreno: 1900 kg/m³
- peso di volume terreno immerso: 900 kg/m³
- coesione (cautelativo): 0
- falda a -2,00 m dal p.c.

Nella verifica di portanza laterale, a favore di sicurezza, sono stati trascurati i primi 2 m in sommità .

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, da utilizzare per l'Approccio 2 (A1 + M1 + R3) sono i seguenti:

Tabella 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	$\tan \phi'_k$	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_f	1,0	1,0

I coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche dei pali, da utilizzare per l'Approccio 2 (A1 + M1 + R3) sono i seguenti:

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

I fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali in funzione del numero di verticali indagate sono i seguenti:

Tabella 6.4.IV – Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

15.1 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI VERTICALI

CAPACITA' PORTANTE DI UN PALO JET					
Portanza pali Jet $\phi=60\text{cm}$ $L=12,0\text{m}$					
Diametro del palo lungo il fusto	D		0,600	m	
Diametro alla punta	Dp		0,600	m	
Perimetro della sezione	P		1,88	m	
area della superficie di base	A		0,283	m ²	
Resistenza alla punta					
profondità della punta	L _p		14,00	m	
peso di volume del terreno alla punta	γ	terreno immerso	0,90	t/m ³	
angolo di attrito del terreno alla punta	ϕ	terreno incoerente	33	gradi	
coesione del terreno alla punta	c		0,0	t/m ²	
fattori di capacità portante	N _q	NAVFAC (valore medio tra pali battuti e trivellati)	26		
	N _c		0		
pressione vert. effettiva alla base	σ_v	$\gamma \cdot L_p$	12,60	t/m ²	
Resistenza alla punta	R_b	A*($\sigma_v \cdot N_q + c \cdot N_c$)	92,63	t	
Resistenza laterale					
strato 1					
		Sabbie limose			
coefficiente di spinta	k ₁	AGI	0,60		
fattore di adesione (terreni coesivi)	α_1	AGI	0		
Altezza strato 1	L ₁		12,00	m	
Sovraccarico (in metri di terreno)	h _s		2,00	m	
peso di volume del terreno	γ_1	Peso immerso	0,90	t/m ³	
angolo di attrito terreno	ϕ_1		33	gradi	
angolo di attrito terreno-palo	δ_1		33	gradi	
coesione	c ₁		0,0	t/m ²	
pressione vert. effettiva in sommità	σ_{v1s}	$\gamma_1 \cdot h_s$	1,80	t/m ²	
pressione vert. effettiva alla base	σ_{v1b}	$\gamma_1 \cdot (h_s + L_1)$	12,60	t/m ²	
pressione media nello strato 1	$\sigma_{v1\text{ media}}$	$(\sigma_{v1s} + \sigma_{v1b})/2$	7,20	t/m ²	
Resistenza laterale strato 1	R ₁₁	$P \cdot L_1 \cdot (\sigma_{v1\text{ media}} \cdot k_1 \cdot \text{tg} \delta_1 + \alpha_1 \cdot c_1)$	63,46	t	
Resistenza laterale totale	R_l	R_{11} + R_{12} + R_{13}}}}	63,46	t	
Resistenza totale (punta + laterale) R_t R_{b} + R_l 156,08 t}					
Coefficienti riduttivi					
γ_{rb}	base		1,35		
γ_{rl}	laterale		1,15		
ξ_3	coef. Riduttivo della resistenza globale		1,70		
Resistenza totale (punta + laterale)	R_t	(R_{b}/1,35 + R_{l}/1,15)/1,7}}	72,82	t	
Carico sul palo	N ₁		60,6	t	
Carico totale	N _t		60,6		
Coefficiente di sicurezza	f	R_{t}/N_{t}}}	1,20	>1	

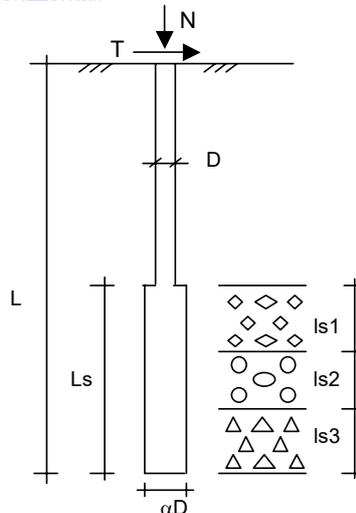
15.2 VERIFICA CAPACITA' PORTANTE NEI CONFRONTI DELLE AZIONI ORIZZONTALI

OPERA: Verifica di un palo jet nei confronti delle azioni orizzontali

DATI DI INPUT:

Sollecitazioni Agenti:

	Permanenti	Temporanee	Calcolo
N (kN)	493,00	0,00	493,00
T (kN)	48,00	0,00	48,00



coefficienti parziali		azioni		terreno
Metodo di calcolo		permanenti γ_g	temporanee variabili γ_q	γ_s
Stato limite ultimo	<input type="radio"/>	1,00	1,30	1,30
Tensioni ammissibili	<input type="radio"/>	1,00	1,00	1,00
definiti dall'utente	<input checked="" type="radio"/>	1,00	1,00	1,30

n	1	2	3	4	5	7	10	T.A.	ut
ξ_3	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25	1,00	1,70
ξ_4	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08	1,00	1,70

Armatura:

- Diametro dell'armatura (Darm): 168,3 (mm)
- Spessore dell'armatura (Sarm): 10,0 (mm)
- Modulo di elasticità dell'acciaio costituente l'armatura (Earm): 210.000 (N/mm²)
- Area dell'armatura (Aarm): 4973 (mm²)
- Momento di inerzia della sezione di armatura (Jarm): 1,564E+07 (mm⁴)
- Modulo di resistenza della sezione di armatura (Warm): 185.857 (mm³)
- Tipo di acciaio
- Tensione di snervamento dell'acciaio (fy): 355 (N/mm²)
- Tensione ammissibile dell'acciaio (σ_{amm}): 240 (N/mm²)

Malta di iniezione:

- Res. compressione monoassiale malta di iniezione (σ_{malta}): 30 (N/mm²)

Coefficiente di Reazione Laterale:

- Coeff. di Winkler (k): 25,0 (MN/m³)

VERIFICA ALLE FORZE ORIZZONTALI

Momento massimo per carichi orizzontali (M):
(Ipotesi di palo con testa impedita di ruotare)

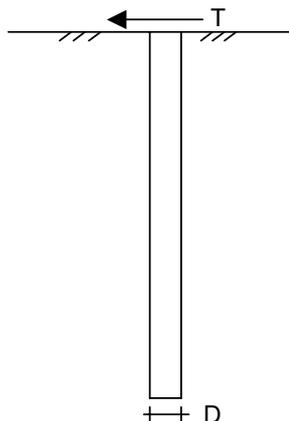
$$M = T / (2 \cdot b)$$

$$b = \sqrt[4]{\frac{k \cdot D}{4 \cdot E_{arm} \cdot I_{arm}}}$$

b = 0,785 (1/m)

Momento Massimo (M):

M = 30,56 (kN m)



VERIFICHE STRUTTURALI DEL MICROPALO

Acciaio Fe 510

Tensioni nel singolo micropalo

$\sigma = N/A_{arm} \pm M/W_{arm}$

$\tau = 2 \cdot T / A_{arm}$

$\sigma_{max} = 263,54 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{min} = -65,27 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\tau = 19,30 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0,5}$

$\sigma_{id} = 265,65 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

La verifica è dunque soddisfatta prevedendo un armatura costituita da un profilo tubolare in acciaio S355 avente diametro esterno $\phi=168.3$ mm e spessore 10 mm.

15.3 CALCOLO CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti si utilizza la combinazione di carico SLE frequente:

$G_1 + G_2 + \psi_{11} Q_{k1} + \psi_{22} Q_{k2} + \psi_{23} Q_{k3} + \dots$

La massima forza verticale all'appoggio delle travi si ottiene per la seguente combinazione:

1,00 × (peso proprio)

1,00 × (permanenti)

0,80 treno pos.16 + 0,80 serpeggio Y(+) + 0,40 frenatura X(-))

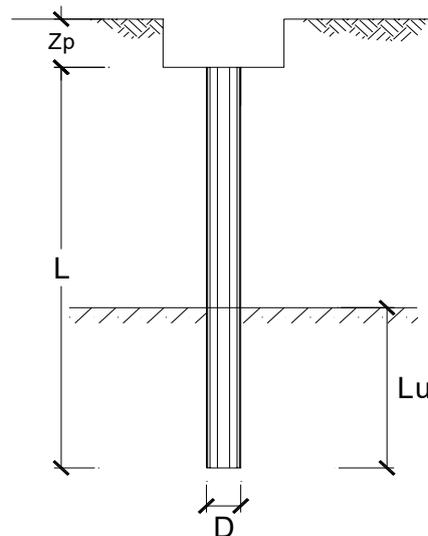
0,00 × (vento Y)

Forza verticale : F = 744 kN

La massima forza verticale agente sul singolo palo è quindi pari a $F = 744 / 2 = 372$ kN

CALCOLO DEL CEDIMENTO DEL PALO**OPERA:** Colonna Jet Grouting L=14,0 e D=60cm**DATI DI IMPUT:**

Diametro del Palo (D): 0,60 (m)
Carico sul palo (P): 372,0 (kN)
Lunghezza del Palo (L): 14,00 (m)
Lunghezza Utile del Palo (Lu): 12,00 (m)
Modulo di Deformazione (E): 40,00 (MPa)
Numero di pali della Palificata (n): 2 (-)

**CEDIMENTO DEL PALO SINGOLO:**

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile}$$

Coefficiente di forma

$$\beta = 0,5 + \text{Log}(L_{utile} / D): 1,80 \quad (-)$$

Cedimento del palo

$$\delta = \beta * P / E * L_{utile} = 1,40 \quad (\text{mm})$$

Il cedimento dei pali è praticamente trascurabile.