

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
VIADOTTI E PONTI
Viadotto Fibbio dal Km 7+657.67 al Km 8+431.67
SCAVI, DEMOLIZIONE, OPERE PROVVISORIALI
Relazione di calcolo opere provvisoriali**

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA
IL PROGETTISTA		Consorzio Iricav Due						-
Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Gennaio 2023		ing. Paolo Carmona Data: Gennaio 2023						

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

I N 1 7 1 2 E I 2 C L V I 0 1 A 1 0 0 1 C - - - D - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing Alberto Levorato 	Gennaio 2023

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIE	G. Furlani 	Giugno 2022	V. Pastore 	Giugno 2022	P. Ascari 	Giugno 2022	P. Ascari
C	RECEPIMENTO ISTRUTTORIE	G. Furlani 	Gennaio 2023	V. Pastore 	Gennaio 2023	P. Ascari 	Gennaio 2023	

CIG. 8377957CD1 CUP: J41E9100000009 File: IN1712EI2CLVI01A1001C
Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001</p>	<p>Rev. C</p>	<p>Foglio 2 di 133</p>	

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	10
2.1	Normativa di riferimento.....	10
2.2	Documenti di riferimento.....	10
2.3	Software di riferimento.....	10
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	11
4	ANALISI DELLE PARATIE.....	12
4.1	Combinazioni e coefficienti parziali.....	12
4.2	Caratterizzazione geotecnica dei terreni	13
4.3	Elementi strutturali	14
4.4	Carichi applicati.....	14
4.5	Stabilità globale.....	14
4.6	Sezioni di calcolo	16
4.7	Discretizzazione di calcolo.....	16
4.7.1	Sezione 1	16
4.7.2	Sezione 2.....	17
4.7.3	Sezione 3.....	18
4.8	Fasi di calcolo	19
4.8.1	Sezione 1	19
4.8.2	Sezione 2.....	21
4.8.3	Sezione 3.....	23
4.9	Principali risultati delle analisi.....	27
4.9.1	Sezione 1	27
4.9.2	Sezione 2.....	31
4.9.3	Sezione 3.....	36
4.9.4	Stima portate di emungimento.....	40
4.10	Verifiche di resistenza palancole	43
4.10.1	Sezione 1	44



4.10.2	Sezione 2	45
4.10.3	Sezione 3	46
4.11	Verifiche di resistenza sistema di contrasto sommitale	46
4.11.1	Sezione 2 - Verifica strutturale dei puntoni di contrasto	49
4.11.2	Sezione 2 - Verifica travi di ripartizione	51
4.11.3	Sezione 3 - Verifica strutturale dei puntoni di contrasto	52
4.11.4	Sezione 3 - Verifica travi di ripartizione	54
4.12	Verifiche nei confronti degli stati limite idraulici	56
5	ALLEGATO A. Tabulato di calcolo Plaxis	60
5.1	Tabulati di calcolo sezione 1.....	61
5.2	Tabulati di calcolo sezione 2.....	80
5.3	Tabulati di calcolo sezione 3.....	118

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 4 di 133	

1 PREMESSA

La presente relazione sviluppa il dimensionamento, la verifica geotecnica e stabilità strutturale delle paratie provvisorie e degli scavi necessari per la realizzazione delle fondazioni del viadotto VI01A - Viadotto Fibbio dal km 7+657.67 al km 8+431.67, previsto nell'ambito della linea A.V. / A.C. Torino – Venezia, tratta Verona – Padova, lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza.

In particolare si tratta di palancolati metallici posti a presidio dello scavo della spalla e delle pile.

Per le pile P5÷P15, P18÷P30, in relazione alle massime profondità di scavo (tra 3.3 e circa 3.7 m dal p.c.) ed al livello di falda assunto per le opere provvisorie (prossimo al p.c.) si prevedono palancole a sbalzo con lunghezza $L=12.0$ m, che verranno infisse per almeno 11.0 m. Verranno realizzati con profili a doppia onda PU18 disposti planimetricamente sull'intero perimetro delle fondazioni, al fine di consentire lo scavo in sicurezza e limitare i processi di filtrazione idraulica verso l'interno.

Per la spalla A e le pile P1÷P4, che presentano uno scavo massimo di 4.5 m (pila P3) si prevedono palancole PU18 con lunghezza 12.0 m e sistema di contrasto con puntoni ($de=298.5$ mm, $s=10$ mm, acciaio S355) e travi di ripartizione in acciaio (HE 240 A acciaio S355) posto a circa 1 m da testa palancola. Il sistema di contrasto verrà rimosso dopo la realizzazione del plinto di fondazione.

Per le pile P16, P17, che presentano uno scavo massimo di 6.4 m si prevedono palancole PU22 con lunghezza 15.0 m e sistema di contrasto con puntoni ($de=298.5$ mm, $s=10$ mm, acciaio S355) e travi di ripartizione in acciaio (HE 280 B acciaio S355) posto a circa 2.5 m da testa palancola. Il sistema di contrasto verrà rimosso dopo la realizzazione del plinto di fondazione.

È inoltre prevista la realizzazione di 2 pozzi di aggotamento per ogni plinto, ubicati all'interno del palancolato. In presenza di terreni granulari permeabili, verranno attivati prima di iniziare lo scavo e consentiranno di mantenere asciutto il fondo scavo durante l'approfondimento, la scapitozzatura dei pali, la posa delle armature e il getto del plinto.

Le opere di sostegno in argomento, in accordo al punto 2.4.1 NTC2008, sono da ritenersi opere provvisorie e per esse è omessa la verifica sismica.

Le analisi statiche e le verifiche di seguito esposte hanno consentito di definire le caratteristiche minime di inerzia e resistenza delle opere provvisorie. Tuttavia, si deve tenere presente che nei terreni granulari addensati considerazioni legate a difficoltà di infissione delle palancole possono diventare determinanti nella scelta della sezione. In relazione alle condizioni locali ed alle tecnologie di infissione disponibili in cantiere, si potrebbe verificare la necessità di operare con palancole più 'pesanti', sovradimensionate quindi rispetto alle semplici necessità statiche.



Nelle seguenti figure si riportano le sezioni delle opere provvisorie di riferimento per i calcoli di seguito eseguiti.

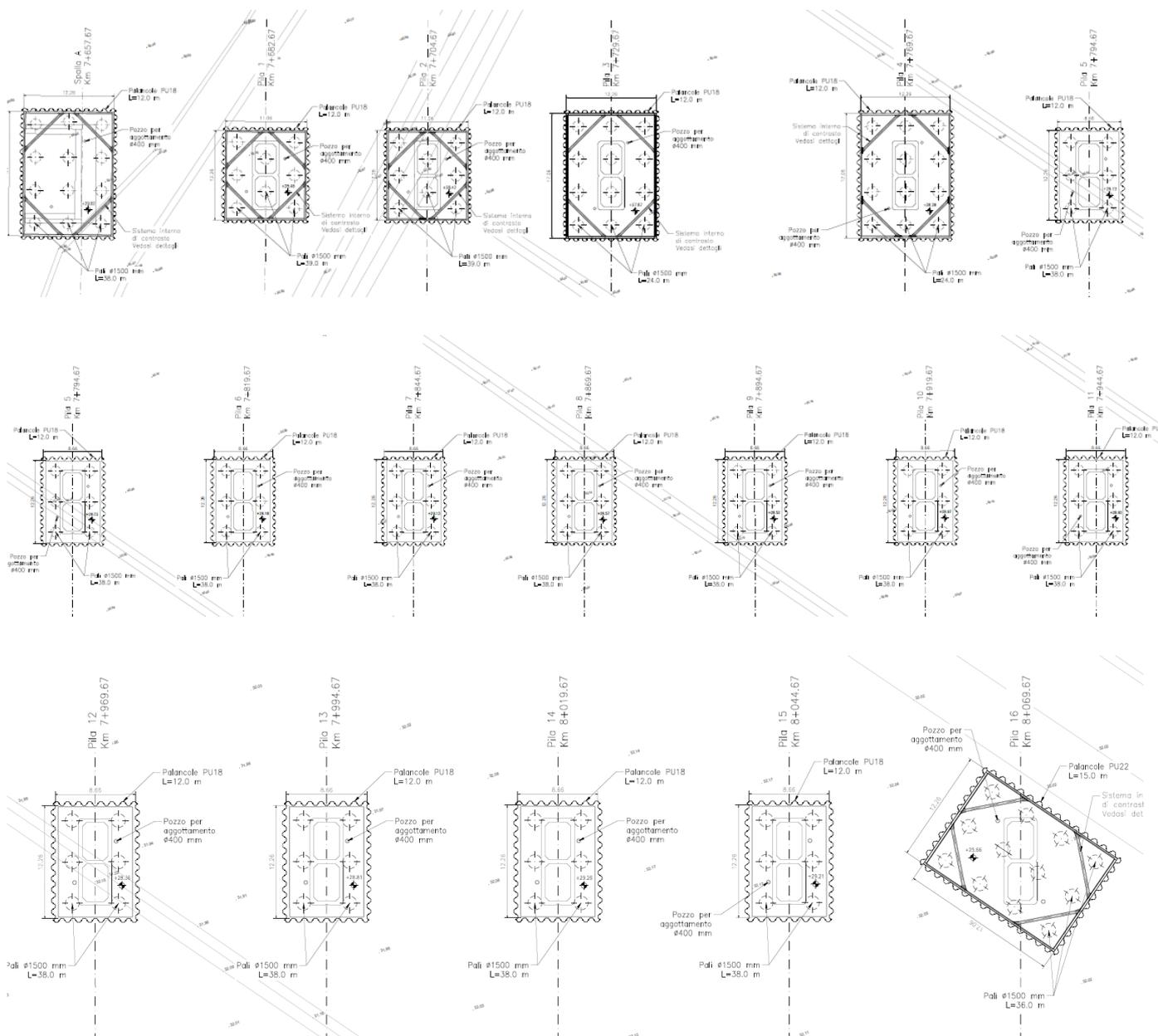


Figura 1 – Pianta opere provvisorie

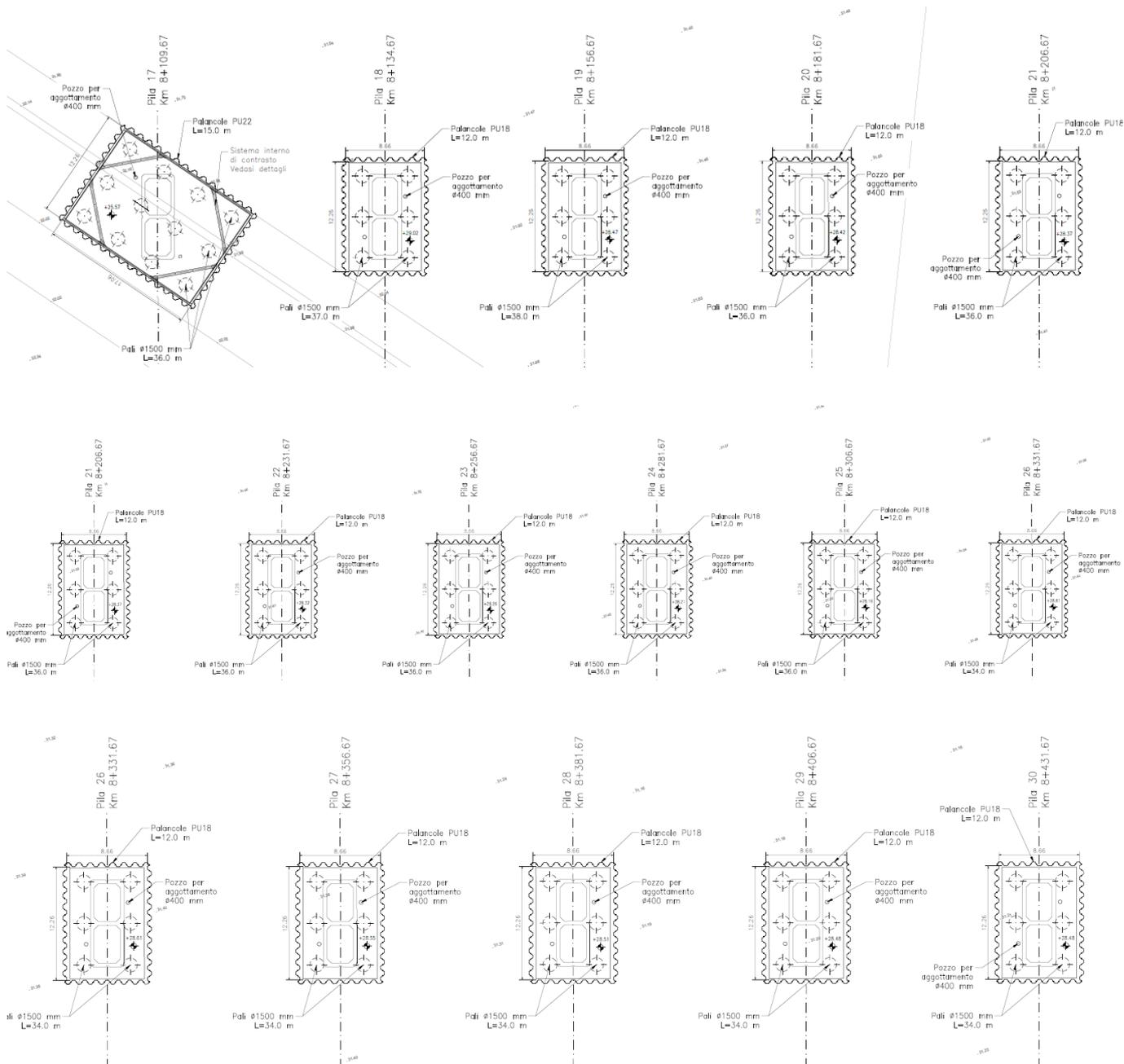


Figura 2 – Pianta opere provvisoriali (segue da pagina precedente)

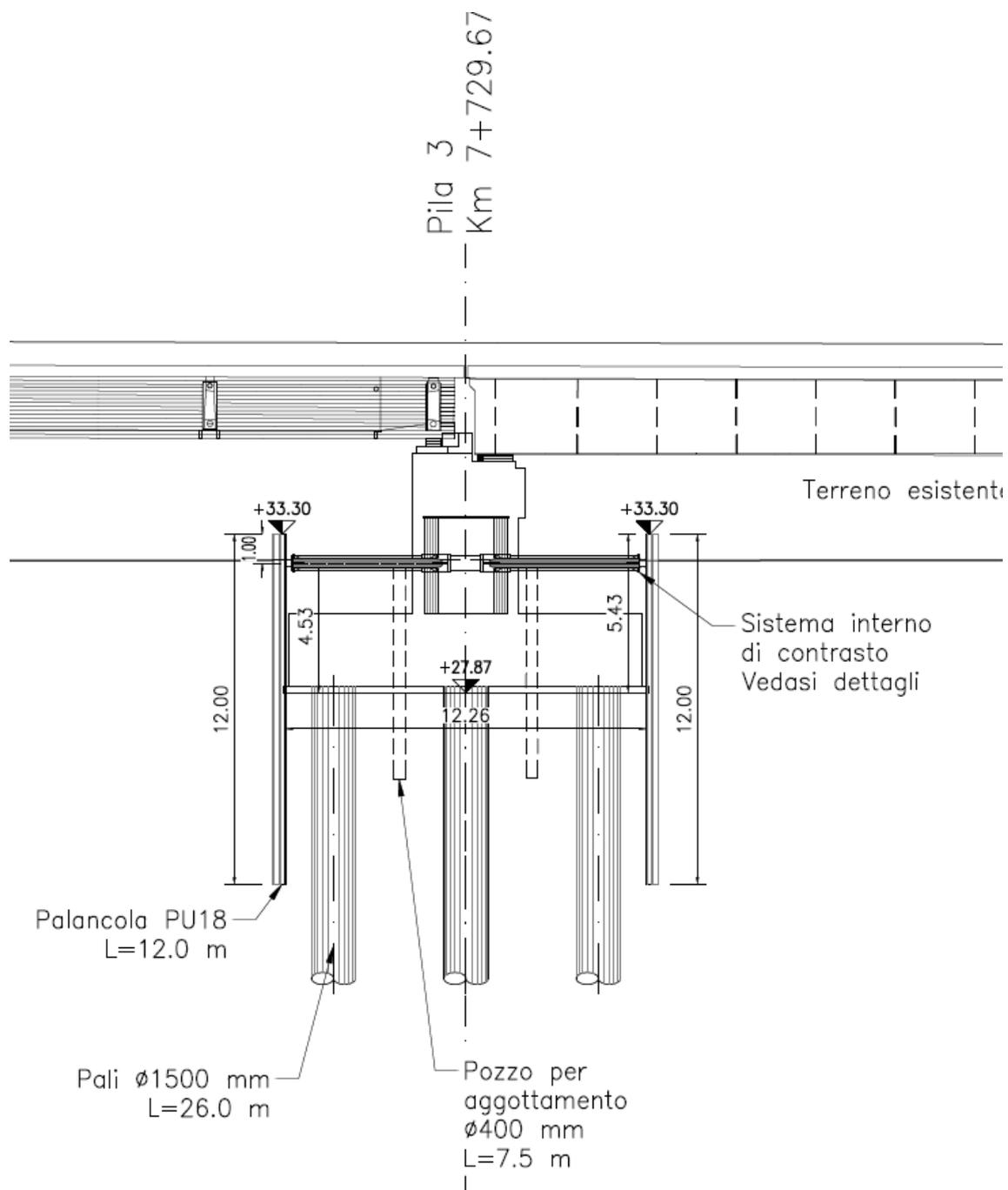


Figura 3 - Sezione trasversale - Pila P3

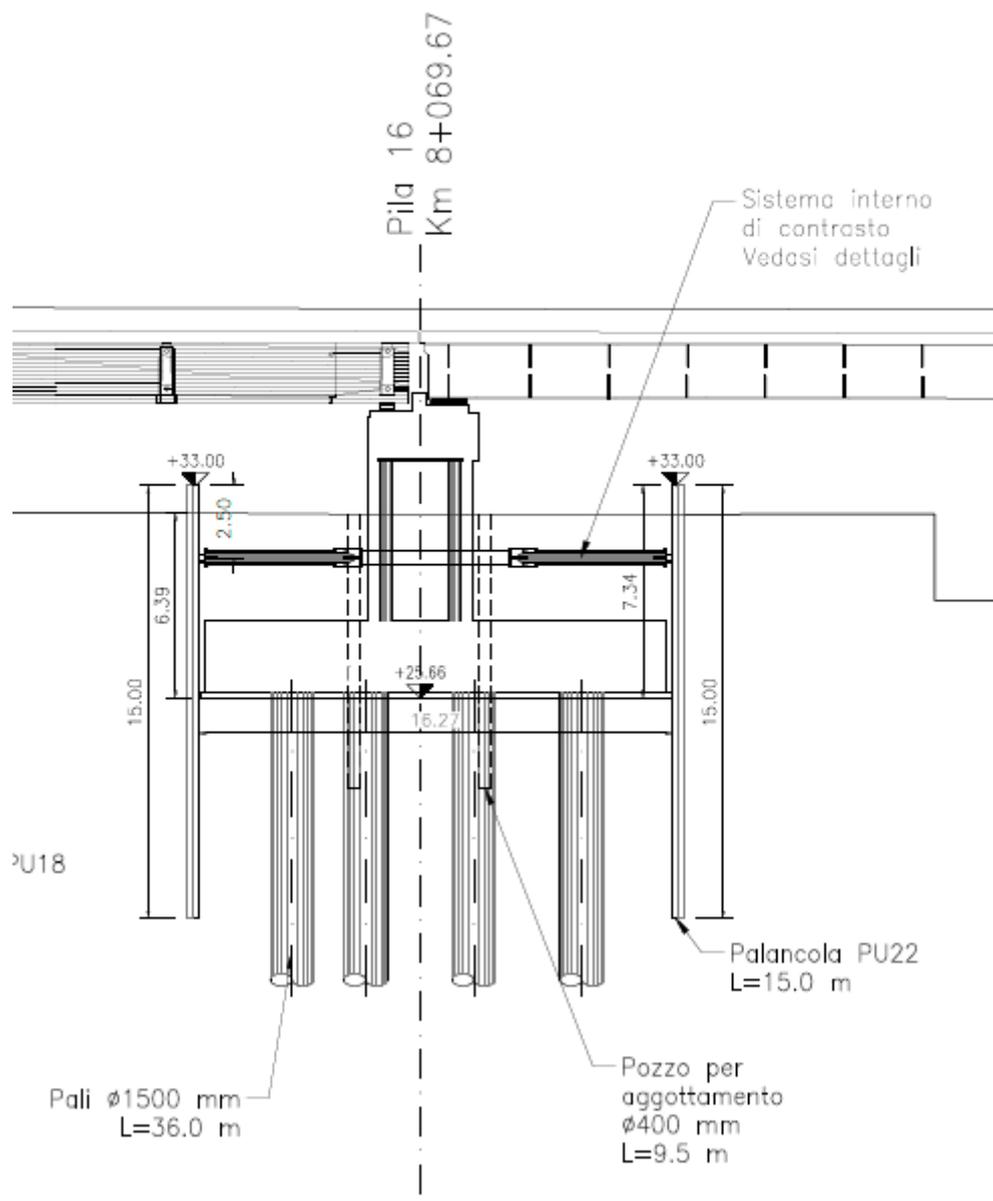


Figura 4 - Sezione trasversale - Pila P16

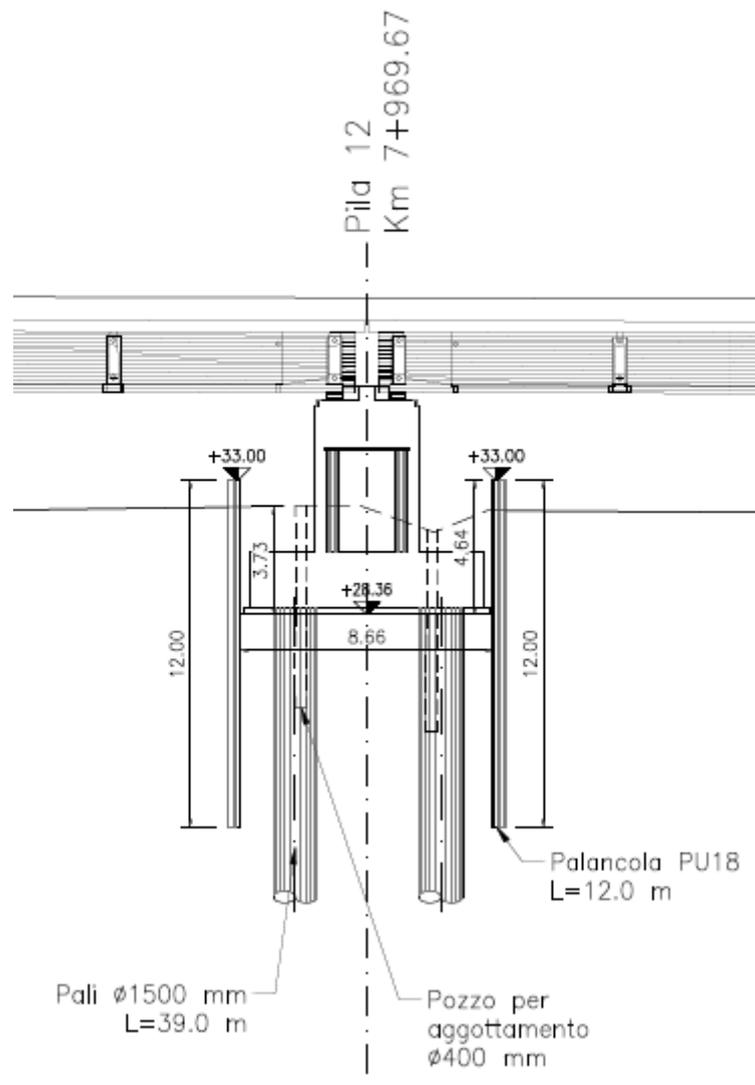


Figura 5 - Sezione trasversale - Pila P12

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 10 di 133	

2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [NR 1] D.M. 14/01/2008 – “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- [NR 2] UNI EN 1997-1:2005 – “Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”.
- [NR 3] UNI EN 1998-1:2005 – “Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- [NR 4] BS 8006:1995 – “Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills”.
- [NR 5] UNI EN 1993-5:2006 – “Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture in acciaio-Piling”.

2.2 Documenti di riferimento

- [DR 1.] IN1712EI2FZVI01A0001 - Profilo Geotecnico - Viadotto Fibbio dal km 7+657.67 al km 8+431.67.
- [DR 2.] IN1712EI2RBVI01A0001 – Relazione Geotecnica - Viadotto Fibbio dal km 7+657.67 al km 8+431.67.

2.3 Software di riferimento

Le analisi sono svolte per mezzo dei seguenti programmi di calcolo:

- codice Plaxis 2D 2020 (Delft, Olanda).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 11 di 133	

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per la realizzazione delle palancole si prevede l'impiego di acciaio S 275 JR - EN 10025-2 (Fe430 B) cui corrisponde una tensione di snervamento $f_{yk} = 275$ MPa.

Nel presente documento si fa riferimento a palancole con un profilo PU18 e PU22, le cui caratteristiche geometriche sono riportate sinteticamente nelle seguenti tabelle.

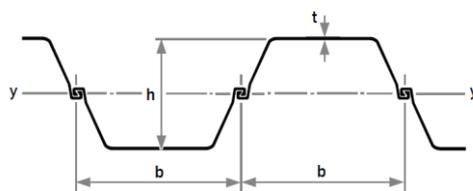


Tabella 1 - Caratteristiche palancole di progetto

Nome	Tipo	A	b	h	t	S	I_y	W_{elx}	W_{plx}	w
(-)	(-)	(m ² /m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ⁴ /m)	(m ³ /m)	(m ³ /m)	(kN/m ²)
PU18	U	0.01633	0.6	0.43	0.0112	0.009	0.0003865	0.0018	0.002134	1.26
PU22	U	0.01829	0.6	0.45	0.0121	0.0095	0.0004946	0.0022	0.00258	1.44

Per la carpenteria metallica degli elementi del sistema di contrasto sommitale delle palancole previsti si adotta acciaio S355 con i seguenti profilati (con modulo dell'acciaio $E_s = 210000$ MPa):

- puntoni: $d_e = 298.5$ mm, $s = 10$ mm ($A = 90.63$ cm²).
- travi di ripartizione: doppio HE 240 A per spalla A e P1-P4, doppio HE 280 B per P16, P17.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 12 di 133	

4 ANALISI DELLE PARATIE

4.1 Combinazioni e coefficienti parziali

Le azioni sulle opere di sostegno sono state ricavate mediante lo studio dell'interazione tra l'opera e il terreno e dipendono quindi dallo stato tensionale iniziale in sito, dal regime delle pressioni interstiziali, dalle proprietà meccaniche dei terreni, degli elementi strutturali e dal contatto terra-opera, dalla geometria dell'opera e dalla sequenza costruttiva. Il peso del terreno che interagisce con la paratia e le azioni che da esso derivano sono considerati come azioni permanenti strutturali. Si considera inoltre un sovraccarico accidentale agente sul p.c. circostante che simula la presenza dei mezzi di cantiere.

Le analisi sono state effettuate in conformità al DM 14 gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni). In particolare la norma prevede tre combinazioni progettuali distinte. La prima combinazione, indicata con la sigla SLE è di riferimento per le verifiche di compatibilità delle deformazioni proprie ed indotte dalle paratie, la seconda combinazione, indicata con la sigla STR, è quella di riferimento per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali, la terza, indicata con la sigla GEO, è di riferimento per le verifiche di stabilità geotecnica.

La prima analisi (SLE), volta alla valutazione delle deformazioni della struttura e delle sollecitazioni in esercizio è stata effettuata utilizzando nel modello i parametri caratteristici del terreno ed i valori caratteristici delle azioni.

La seconda analisi (STR) da usare per le verifiche di resistenza strutturale è stata svolta con riferimento all'Approccio 1 - Combinazione 1: A1+M1+R1. Quindi è stata effettuata utilizzando nel modello i parametri caratteristici del terreno ed i valori caratteristici delle azioni permanenti (spinte terreno ed acqua), nonché amplificando le azioni variabili per un coefficiente γ_q^* ($\gamma_q^* = 1.50/1.30 = 1.15$). Il coefficiente amplificativo equivalente del gruppo A1 ($\gamma_q = 1.30$) è stato infine applicato direttamente alle sollecitazioni ricavate dalle analisi, in accordo al paragrafo 6.2.4.1.3 del D.M. 17/01/2018.

Come indicato al par.C.6.5.3.1 della Circolare Ministeriale, per le verifiche di stabilità geotecnica (GEO) si fa riferimento all'Approccio 1 - Combinazione 2: A2+M2+R2. Pertanto, dopo la simulazione di tutte le fasi di scavo, il margine di sicurezza si ricava con un ulteriore passo di calcolo, finalizzato alla ricerca di un meccanismo di collasso del terreno, riducendo progressivamente i parametri di resistenza dopo aver incrementato le azioni permanenti non strutturali e le azioni variabili (sovraccarichi) dei coefficienti parziali (γ_{G2} , γ_Q) del gruppo A2. La verifica è soddisfatta se il fattore di riduzione dei parametri risulta non inferiore al prodotto dei coefficienti parziali γ_M e γ_R .

Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (amplificativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno) ed adottati nelle suddette combinazioni di calcolo.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 13 di 133	

Tabella 2 - Combinazioni per analisi statiche in esercizio (SLE)

Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
Permanenti		Variabili		tan φ'	c'	cu
sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli			
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Tabella 3 - Combinazioni per analisi statiche (STR e GEO)

	Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)			Resistenze (γ_R)
	Permanenti		Variabili		tan φ'	c'	cu	
	sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli				
<i>STR</i> (A1 + M1 + R1)	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>GEO</i> (A2 + M2 + R2)	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40	1.10

4.2 Caratterizzazione geotecnica dei terreni

Per le unità costituenti il terreno esistente si è utilizzato un modello costitutivo elastico-perfettamente-plastico con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb.

La caratterizzazione geotecnica lungo lo sviluppo del viadotto è riportata nella relazione geotecnica dell'opera ([DR 2.]) da cui si osserva che nell'ambito di profondità di interesse delle opere provvisionali la stratigrafia è piuttosto uniforme con presenza di copertura di 1-2 m di terreno alluvionale 3a/3b ed a seguire ghiaia e poi sabbia da moderatamente addensate a molto addensate. Quindi per il dimensionamento delle opere provvisionali si è fatto riferimento ad una stratigrafia uniforme per tutto il viadotto e comunque cautelativa nello spessore di copertura unità 3a/3b e nei parametri di resistenza al taglio dei materiali. Nella seguente tabella si riportano la stratigrafia ed i parametri geotecnici di resistenza e di rigidezza adottati nei dimensionamenti a seguire.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 14 di 133	

Tabella 4 – Parametri geotecnici

da [m]	a [m]	Unità geotecnica	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	E' [MPa]	k [m/s]
0.0	-2.0	3a/3b	18.5	27	0	10	6E ⁻⁰⁷
-2.0	-30.0	6 / 4	19.0	38	0	50	1E ⁻⁰⁴
Dove: γ = peso di volume naturale ϕ' = angolo di resistenza al taglio c' = coesione drenata E' = modulo di deformazione elastico di Young operativo = E _o / (3÷5) K = permeabilità							

La falda, in accordo a quanto indicato nella relazione geotecnica ([DR 2.]) è stata assunta per il calcolo delle opere provvisoriale prossima al p.c.

4.3 Elementi strutturali

Le palancole provvisorie sono state modellate con elementi snelli (tipo beam), con legame costitutivo elastico lineare, aventi modulo di Young dell'acciaio ($E=2.1 \cdot 10^8$ kPa), area e inerzia propria del profilato scelto (vedasi Tabella 1).

Gli elementi strutturali interagiscono con il terreno circostante mediante elementi interfaccia caratterizzati con adesione nulla ed angolo di resistenza al taglio $\delta' = 2/3 \phi' \leq 20^\circ$.

Il sistema di contrasto sommitale viene modellato con elemento "anchor" considerando l'area del puntone tubolare (vedasi capitolo 3) con il modulo di Young dell'acciaio ed un interasse medio di calcolo di 6 m circa.

4.4 Carichi applicati

La presenza del sovraccarico accidentale dovuto al transito dei mezzi di cantiere è stata cautelativamente considerata nelle analisi applicando al piano campagna un sovraccarico di 10 kPa, uniformemente distribuito ed infinitamente esteso.

4.5 Stabilità globale

La determinazione del coefficiente di sicurezza avviene mediante un algoritmo iterativo ($\phi' - c'$ reduction method, Dawson, Roth and Drescher, 1999) che, sulla base dei dati di partenza (c' e $\tan \phi'$), determina successive condizioni

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 15 di 133	

di equilibrio del sistema eseguendo, ad ogni ciclo, una progressiva riduzione delle resistenze fino al raggiungimento del collasso (condizione di non equilibrio del sistema):

$$c'_{prova} = c' / FS_{prova}$$

$$\varphi'_{prova} = \arctan(\tan \varphi' / FS_{prova})$$

In Figura 6 la progressiva riduzione delle resistenze è rappresentata nel piano di Mohr-Coulomb per il singolo elemento di terreno. Si osserva che i parametri di deformabilità non influenzano in maniera apprezzabile i risultati del calcolo e, pertanto, possono essere considerati senza particolari affinamenti.

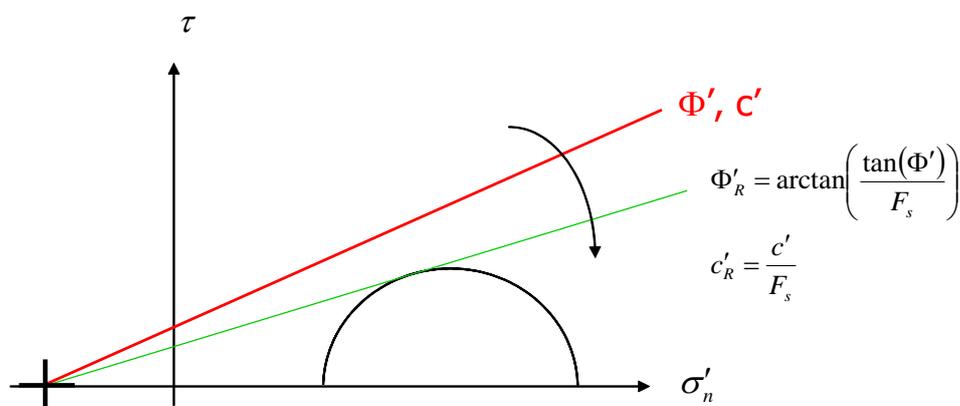


Figura 6 - Phi-c reduction method

Rispetto ai classici metodi dell'equilibrio limite presenta numerosi vantaggi (e.g. Dawson and Roth, 1999, and Cala and Flisiak, 2001):

- le superfici di rottura si propagano in maniera "naturale"; quindi non occorre specificare preventivamente i cinematici e le potenziali superfici di rottura su cui ricercare il coefficiente di sicurezza minimo;
- non richiede la definizione di ipotesi di calcolo "artificiali" (es. ipotesi sulle forze di interfaccia);
- la metodologia non implica limitazioni sulla forma e la modalità di propagazione delle potenziali superfici di rottura (anche multiple e/o con propagazioni complesse delle zone di snervamento) in funzione delle esigenze del sistema;
- l'interazione con eventuali elementi strutturali vengono modellate in maniera realistica con una mobilitazione delle resistenze in funzione della deformazione relativa rispetto al terreno circostante e non semplicemente mediante forze equivalenti.
- la soluzione converge in un meccanismo che è cinematicamente ammissibile (si noti che i metodi classici dell'equilibrio limite prescindono dalla valutazione degli spostamenti e non richiedono pertanto la conoscenza dei legami tensioni-deformazioni ma del solo criterio di resistenza dei terreni interessati).

Tale analisi di stabilità è generalmente svolta a partire dalla configurazione di progetto maggiormente cautelativa che risulta essere la fase di raggiungimento della massima profondità di scavo.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 16 di 133	

Tale analisi equivale alla verifica SLU (GEO) prevista dalla normativa vigente: combinazione 2 (A2+M2+R2), in base alla quale la stabilità geotecnica deve essere verificata con i parametri di resistenza del terreno ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2 ($\gamma_M = 1.25$ sia per la coesione sia per la resistenza al taglio, $\gamma_R = 1.1$).

Pertanto, per soddisfare le verifiche di stabilità geotecnica richieste dalla normativa occorre avere $FS > 1.25 \cdot 1.1 = 1.375$.

4.6 Sezioni di calcolo

Si sono individuate le seguenti sezioni di calcolo che rappresentano le situazioni più gravose in relazioni alle condizioni stratigrafiche ed alla massima altezza di scavo.

- **Sezione 1.** Palancolato PU18 L=12.0m a sbalzo. Il calcolo è eseguito cautelativamente per la sezione con altezza di scavo maggiore (3.7 m) della pila P12.
- **Sezione 2.** palancolato PU22 L=15.0 m con sistema di contrasto a 2.5 m da testa palanca. Si riferisce allo scavo delle pile P16 e P17 che presentano altezza massima di scavo di 6.4m.
- **Sezione 3.** Palancolato PU18 L=12.0m con sistema di contrasto a 1 m da testa palanca. Si riferisce allo scavo della spalla A e pile da P1 a P4 compresa, che presenta altezza di scavo di 4.5 m.

4.7 Discretizzazione di calcolo

La mesh è costituita da elementi finiti triangolari a 15 nodi, quindi con funzioni di forma del 4° grado, con 12 punti di integrazione numerica interni per ogni elemento. Le dimensioni della mesh, in relazione alle dimensioni degli scavi, sono sempre sufficienti a garantire che i risultati delle analisi siano indipendenti dalla particolare discretizzazione adottata e sono tali da permettere di vincolare il lato inferiore della mesh bloccando gli spostamenti verticali ed orizzontali ed i lati sinistro e destro bloccando gli spostamenti orizzontali.

4.7.1 Sezione 1

Nella seguente immagine si riporta la discretizzazione di calcolo adottata per la Sezione 1, in cui è evidenziata la successione stratigrafica. Il dominio discretizzato ha una larghezza di 100 m e un'altezza di 30 m circa, è costituito da circa 2040 elementi triangolari e da circa 16860 nodi.

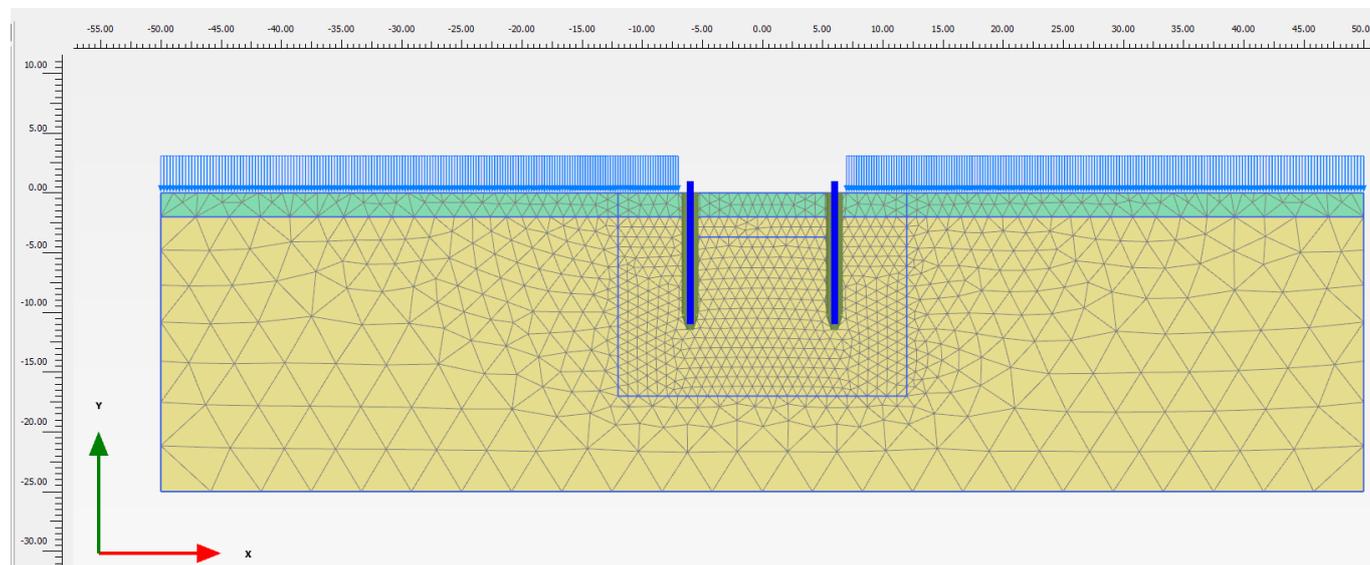


Figura 7 - Sezione 1, Discretizzazione del modello di calcolo

4.7.2 Sezione 2

Nella seguente immagine si riporta la discretizzazione di calcolo adottata per la Sezione 2, in cui è evidenziata la successione stratigrafica. Il dominio discretizzato ha una larghezza di 100 m e un'altezza di 40 m circa, è costituito da circa 3000 elementi triangolari e da circa 25000 nodi.

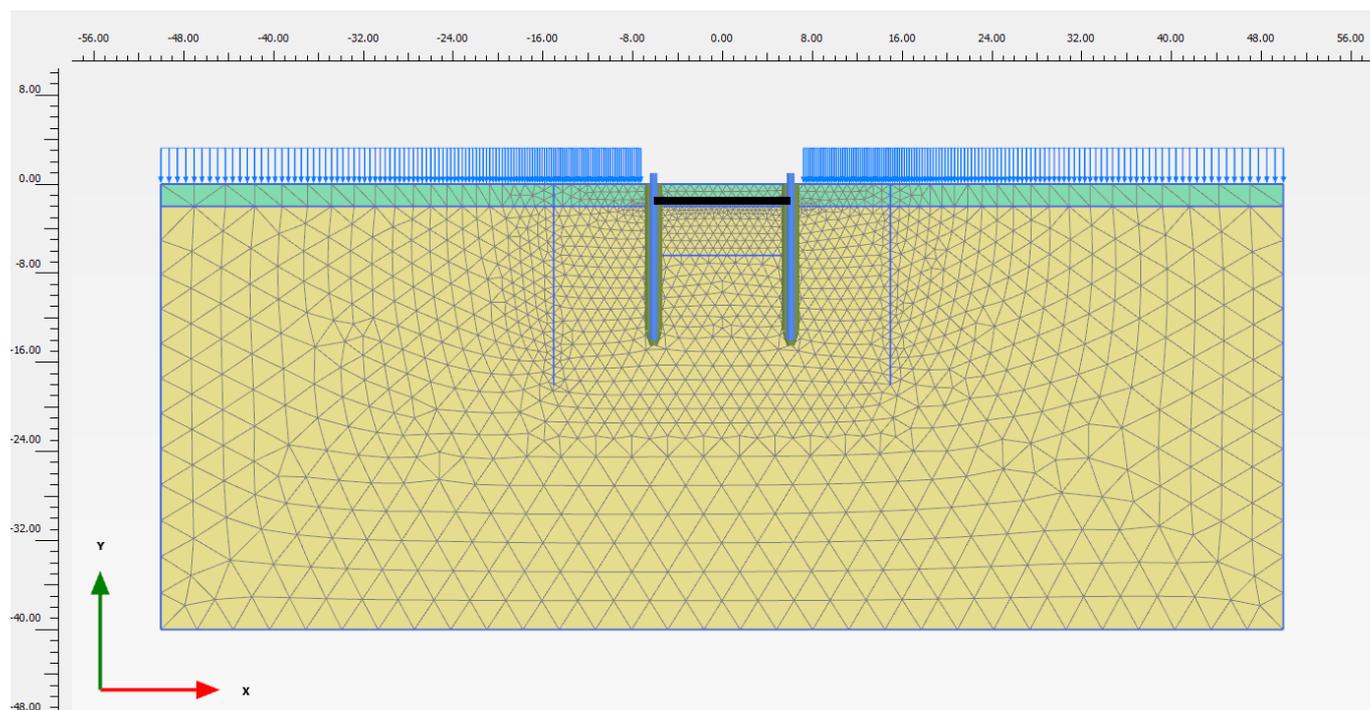


Figura 8 - Sezione 2, Discretizzazione del modello di calcolo

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001</p>	<p>Rev. C</p>	<p>Foglio 18 di 133</p>

4.7.3 Sezione 3

Nella seguente immagine si riporta la discretizzazione di calcolo adottata per la Sezione 3, in cui è evidenziata la successione stratigrafica. Il dominio discretizzato ha una larghezza di 100 m e un'altezza di 40 m circa, è costituito da circa 2500 elementi triangolari e da circa 20700 nodi.

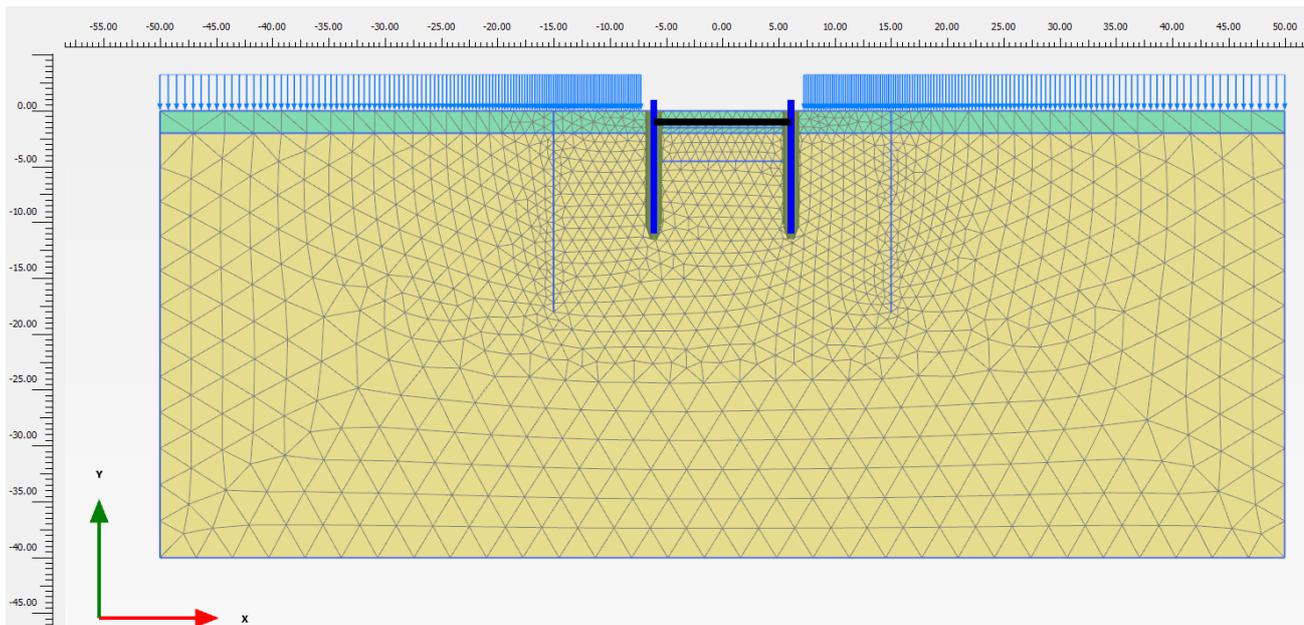


Figura 9 - Sezione 3, Discretizzazione del modello di calcolo

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 19 di 133	

4.8 Fasi di calcolo

Il tipo di analisi utilizzato consente di riprodurre nel dettaglio la storia della costruzione di opere geotecniche.

In generale, mediante il codice FEM utilizzato, possono essere schematizzate le paratie contrapposte, l'evoluzione delle condizioni idrauliche al contorno, la variazione delle condizioni di vincolo e di carico.

Le analisi eseguite sono di tipo sequenziale, riproducendo in successione tutte le principali fasi operative previste per la realizzazione dell'opera. Quindi, il termine di ciascuna analisi rappresenta la condizione iniziale per la fase successiva. Le fasi di scavo vengono simulate mediante la disattivazione dei cluster di terreno corrispondenti.

Nelle fasi in cui lo scavo intercetta il livello di falda, il calcolo tenso-deformativo viene fatto procedere dall'analisi 2D di filtrazione per la corretta determinazione delle pressioni neutre in fase di scavo. Tale calcolo idraulico contempla le seguenti condizioni al contorno: sui bordi della discretizzazione del modello di calcolo vengono fissati i valori iniziali delle pressioni neutre; pertanto tali bordi permettono la comunicazione con l'esterno e quindi l'alimentazione del processo di filtrazione; i contorni delle palancole si considerano impermeabili; il piano di scavo viene definito come una superficie drenante in equilibrio con la pressione atmosferica (pressione neutra nulla); viene così simulata l'operazione di emungimento a fondo scavo.

I modelli 2D sviluppati includono tutte le principali fasi esecutive, per i vari stati limite di progetto previsti dalla normativa. Nel seguito si illustrano esclusivamente le fasi di calcolo che riguardano le opere provvisorie. I risultati delle analisi saranno riportati nella sezione successiva.

4.8.1 Sezione 1

- Fase 1. Inizializzazione geostatica con presenza della falda di riferimento prossima al p.c..
- Fase 2. Posa in opera delle palancole.
- Fase 3. Raggiungimento dello scavo massimo (-3.7 m dal p.c.) e contestuale attivazione del sistema di dewatering e mantenimento del livello idrico interno allo scavo a quota fondo scavo. Il mantenimento "all'asciutto" dell'interno della trincea (tramite emungimento) è simulato imponendo la quota del piano libero della falda interno a fondo scavo e operando un'analisi di filtrazione in condizioni stazionarie.
- Fase 4. Applicazione del carico accidentale.
- Fase 5. Amplificazione del carico accidentale ($\times 1.50/1.30 = 1.15$).
- Fase 6. A partire dalla Fase 4, amplificazione del carico accidentale ($\times 1.30$).
- Fase 7. A partire dalla Fase 6 si esegue la verifica di stabilità globale, riducendo progressivamente i parametri di resistenza al taglio dei terreni (φ' - c' *reduction method*) fino al raggiungimento del coefficiente di sicurezza desiderato, maggiore di 1.375 (FS min = 1.25×1.1), in osservanza alla normativa per la verifica SLU GEO (cfr. § 4.5).

Le Fasi 3 e 4 sono rappresentative delle condizioni SLE per la valutazione degli spostamenti.

La Fase 5 è quella di riferimento per le verifiche STR A1+M1 amplificando le sollecitazioni di calcolo ottenute x 1.30.

La Fase 7 contempla la verifica di stabilità GEO (A2+M2+R2).

Le principali fasi di calcolo sono rappresentate nelle seguenti immagini.

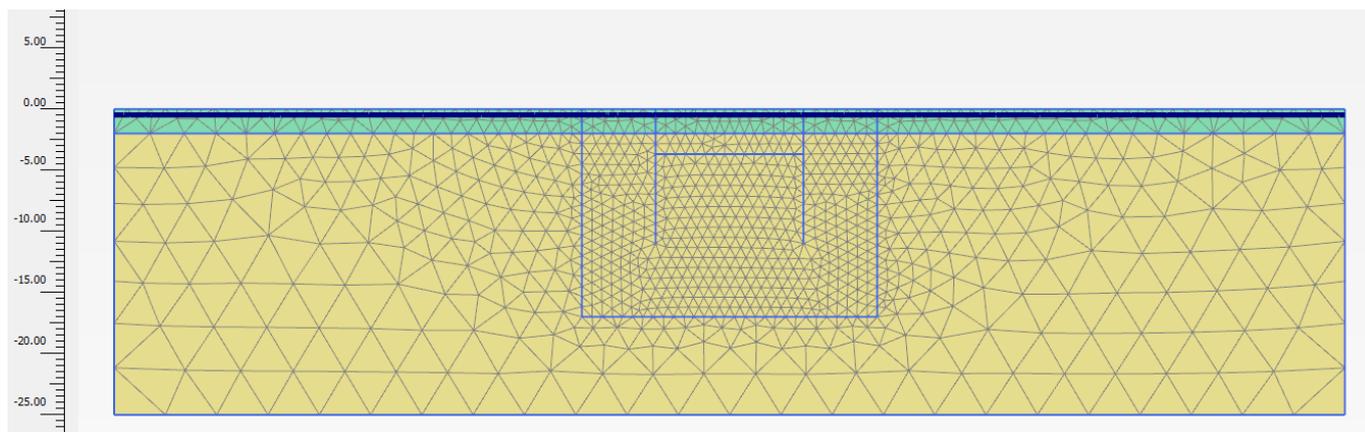


Figura 10 - Sezione 1, Inizializzazione geostatica

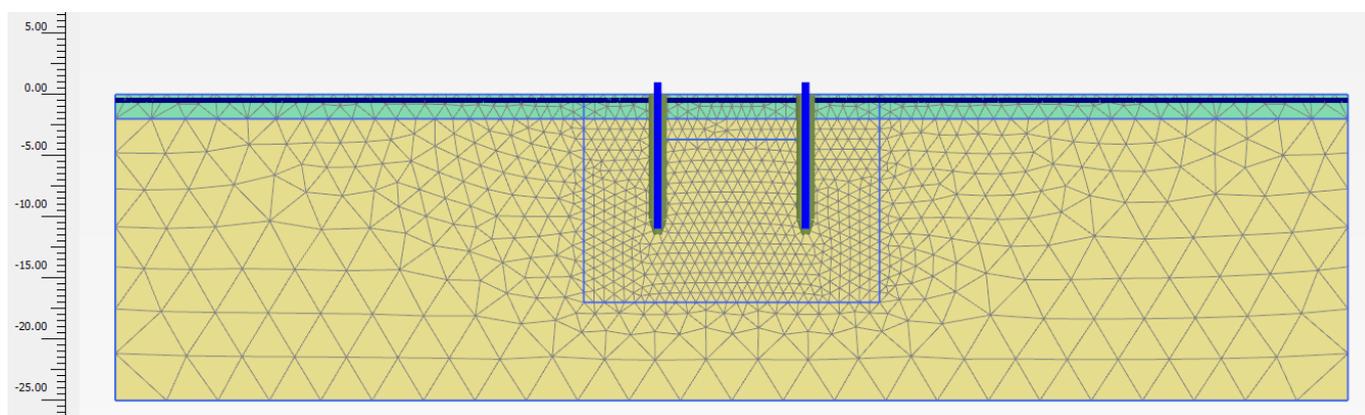


Figura 11 - Sezione 1, Realizzazione palancole

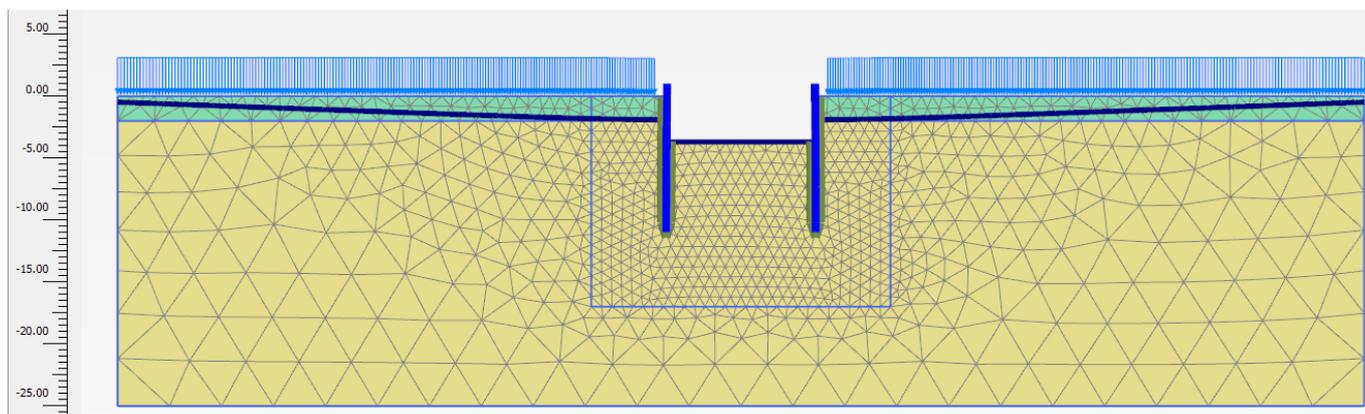


Figura 12 - Sezione 1, Scavo massimo e applicazione dei carichi

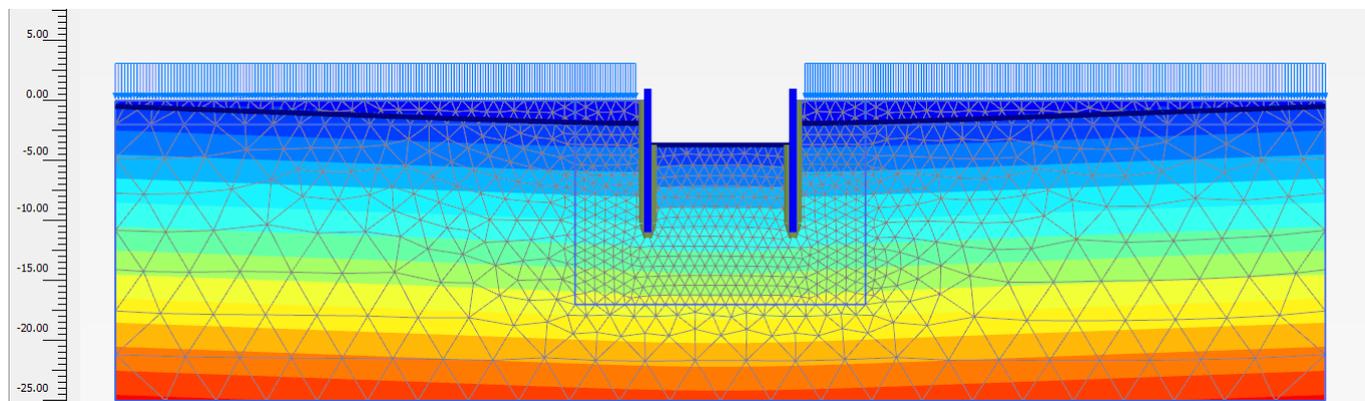


Figura 13 - Sezione 1, Pressioni neutre in fase di massimo scavo con carichi

4.8.2 Sezione 2

- Fase 1. Inizializzazione geostatica con presenza della falda prossima al p.c..
- Fase 2. Esecuzione delle palancole.
- Fase 3. Scavo fino a -1.7 m e applicazione del carico accidentale.
- Fase 4. Raggiungimento dello scavo massimo (-6.4 m dal p.c.) con inserimento sistema di contrasto sommitale e contestuale attivazione del sistema di dewatering e mantenimento del livello idrico interno allo scavo a quota fondo scavo. Il mantenimento "all'asciutto" dell'interno della trincea (tramite emungimento) è simulato imponendo la quota del piano libero della falda interno a fondo scavo e operando un'analisi di filtrazione in condizioni stazionarie.
- Fase 5. Amplificazione del carico accidentale ($\times 1.50/1.30 = 1.15$).
- Fase 6. A partire dalla Fase 4, amplificazione del carico accidentale ($\times 1.30$).
- Fase 7. A partire dalla Fase 6 si esegue la verifica di stabilità globale, riducendo progressivamente i parametri di resistenza al taglio dei terreni (φ' - c' reduction method) fino al raggiungimento del coefficiente di sicurezza desiderato, maggiore di 1.375 (FS min = 1.25×1.1), in osservanza alla normativa per la verifica SLU GEO (cfr. §4.5).

Le Fasi 3 e 4 sono rappresentative delle condizioni SLE per la valutazione degli spostamenti.

La Fase 5 è quella di riferimento per le verifiche STR A1+M1 amplificando le sollecitazioni di calcolo ottenute $\times 1.30$.

La Fase 7 contempla la verifica di stabilità GEO (A2+M2+R2).

Le principali fasi di calcolo sono rappresentate nelle seguenti immagini.

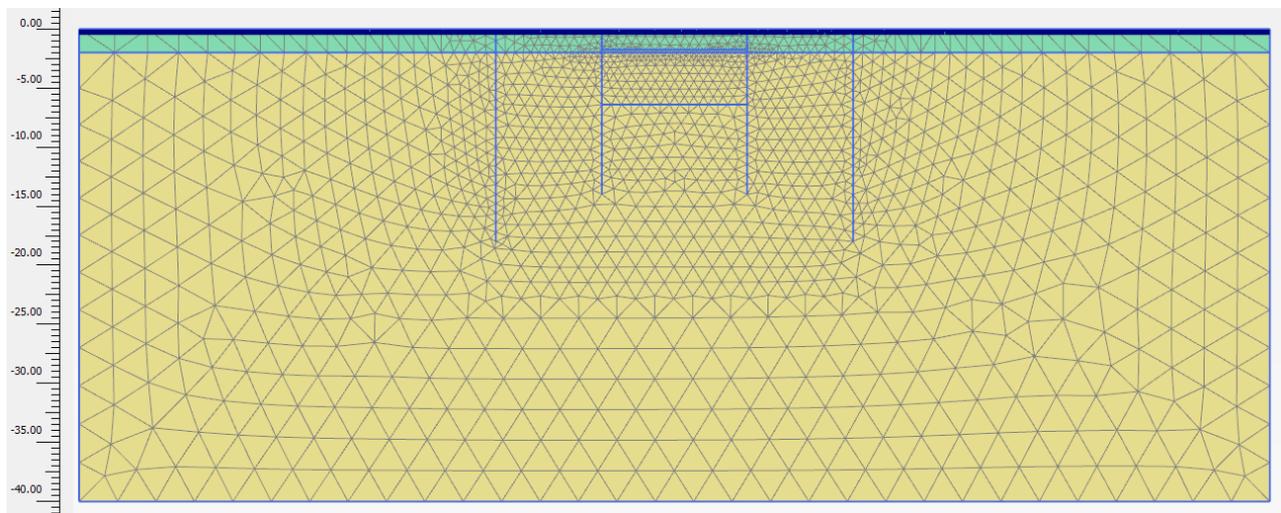


Figura 14 - Sezione 2, Inizializzazione geostatica

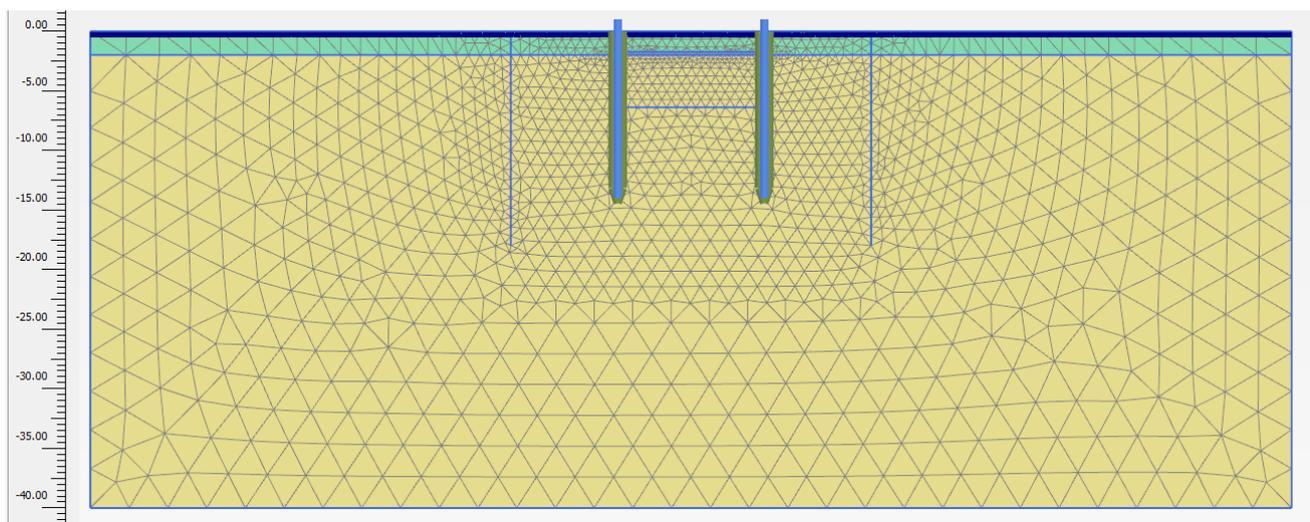


Figura 15 - Sezione 2, Realizzazione palancole

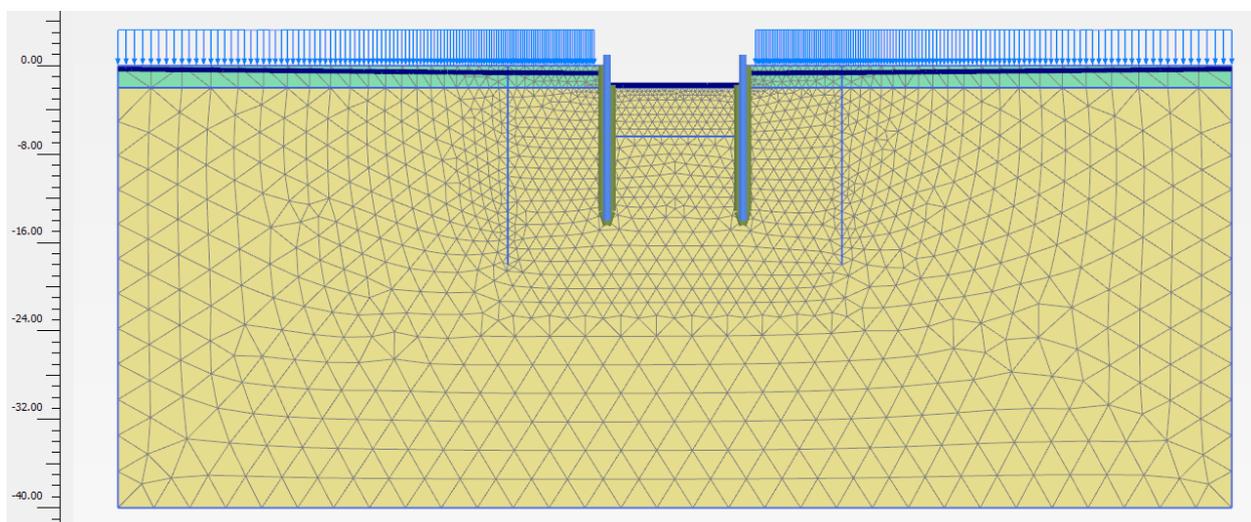


Figura 16 - Sezione 2, Scavo fino a -1.75 m per inserimento contrasto sommitale e applicazione dei carichi

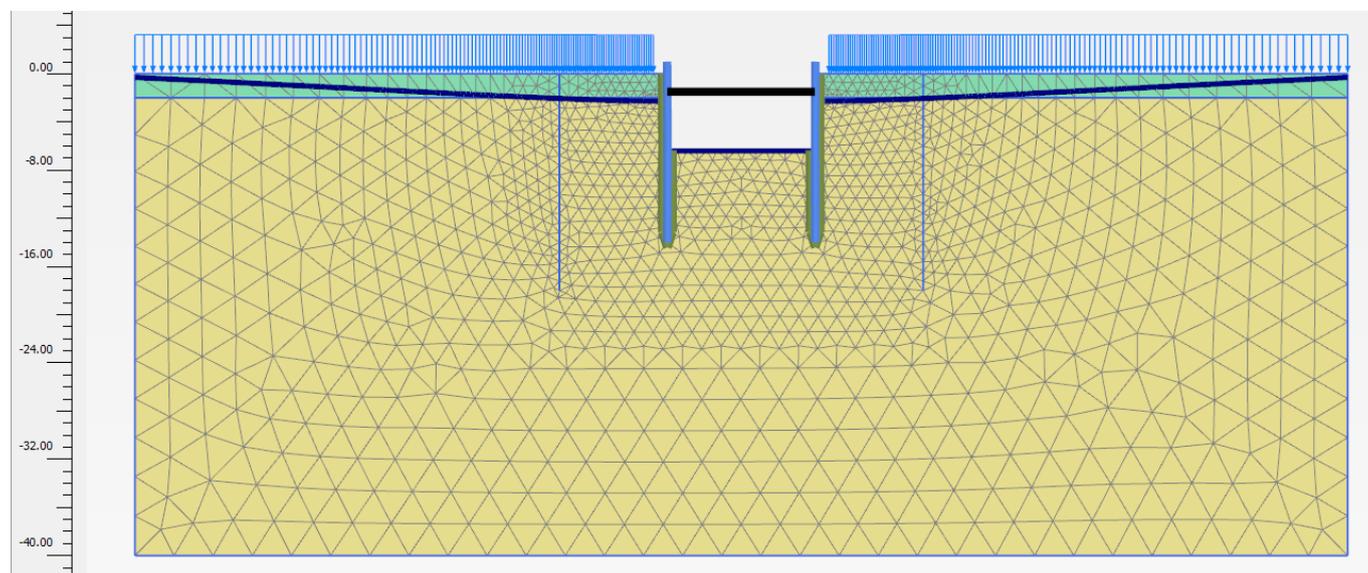


Figura 17 - Sezione 2, Scavo massimo e sistema di contrasto

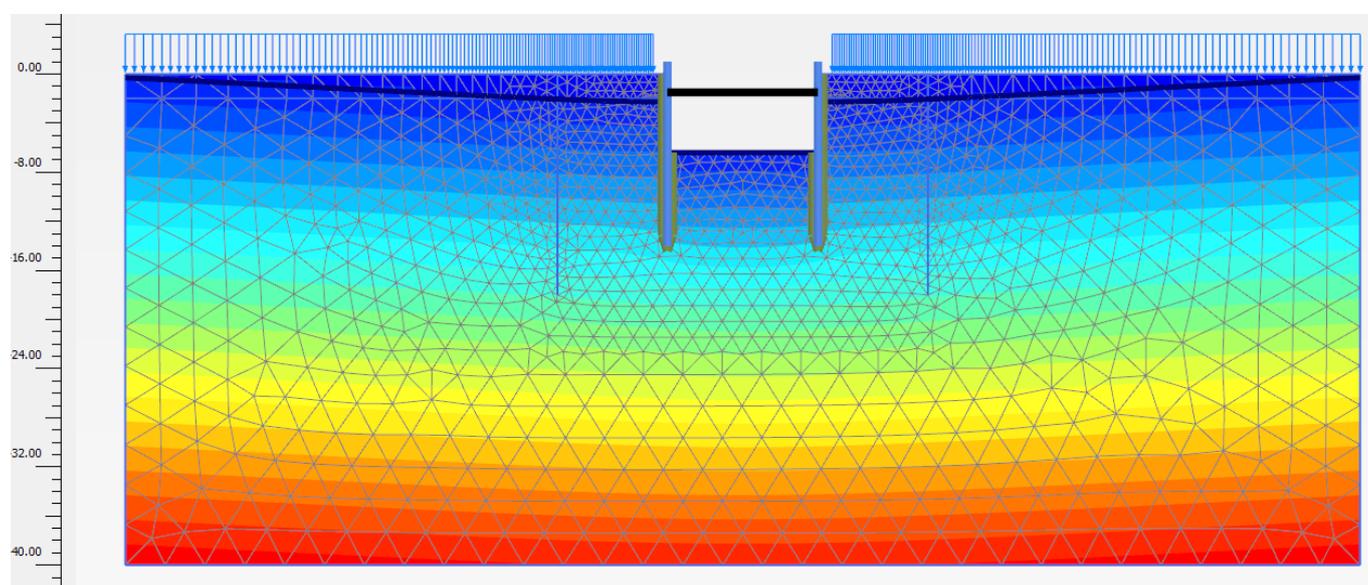


Figura 18 - Sezione 2, Pressioni neutre in fase di massimo scavo con carichi

4.8.3 Sezione 3

- Fase 8. Inizializzazione geostatica con presenza della falda prossima al p.c..
- Fase 9. Esecuzione delle palancole.
- Fase 10. Scavo fino a -1.5 m e applicazione del carico accidentale.
- Fase 11. Raggiungimento dello scavo massimo (-4.5 m dal p.c.) con inserimento sistema di contrasto sommitale e contestuale attivazione del sistema di dewatering e mantenimento del livello idrico interno allo scavo a quota fondo scavo. Il mantenimento "all'asciutto" dell'interno della trincea (tramite

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 24 di 133	

emungimento) è simulato imponendo la quota del piano libero della falda interno a fondo scavo e operando un'analisi di filtrazione in condizioni stazionarie.

- Fase 12. Amplificazione del carico accidentale ($x 1.50/1.30 = 1.15$).
- Fase 13. A partire dalla Fase 4, amplificazione del carico accidentale ($x 1.30$).
- Fase 14. A partire dalla Fase 6 si esegue la verifica di stabilità globale, riducendo progressivamente i parametri di resistenza al taglio dei terreni (φ' - c' *reduction method*) fino al raggiungimento del coefficiente di sicurezza desiderato, maggiore di 1.375 (FS min = 1.25×1.1), in osservanza alla normativa per la verifica SLU GEO (cfr. §4.5).

Le Fasi 3 e 4 sono rappresentative delle condizioni SLE per la valutazione degli spostamenti.

La Fase 5 è quella di riferimento per le verifiche STR A1+M1 amplificando le sollecitazioni di calcolo ottenute $x 1.30$.

La Fase 7 contempla la verifica di stabilità GEO (A2+M2+R2).

Le principali fasi di calcolo sono rappresentate nelle seguenti immagini.

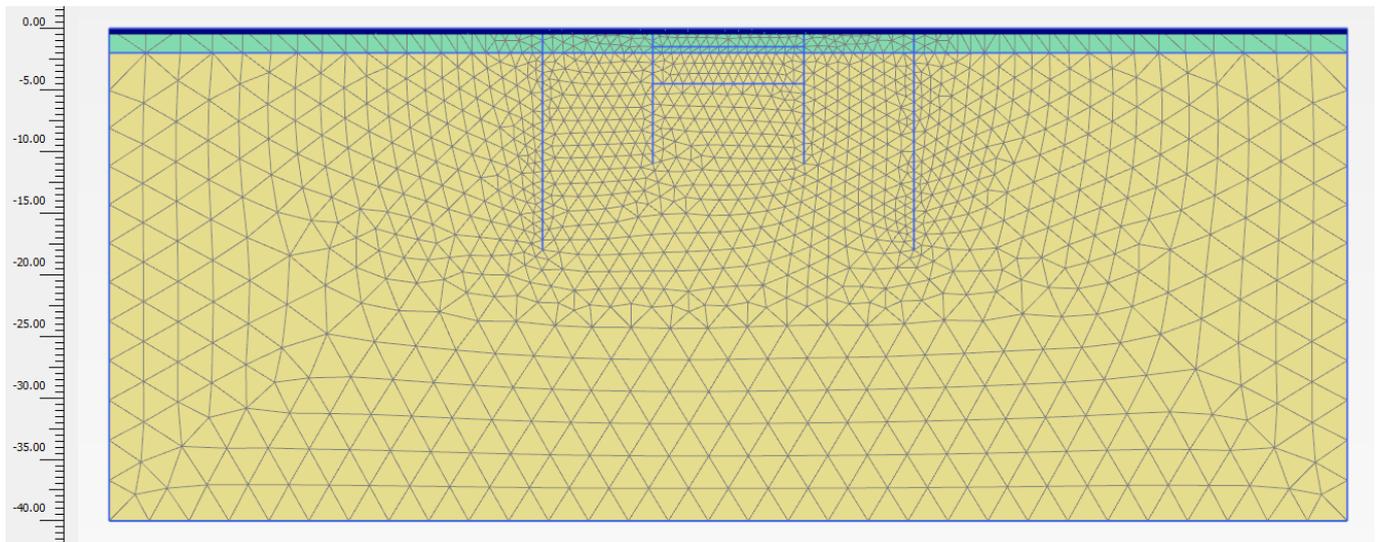


Figura 19 - Sezione 3, Inizializzazione geostatica

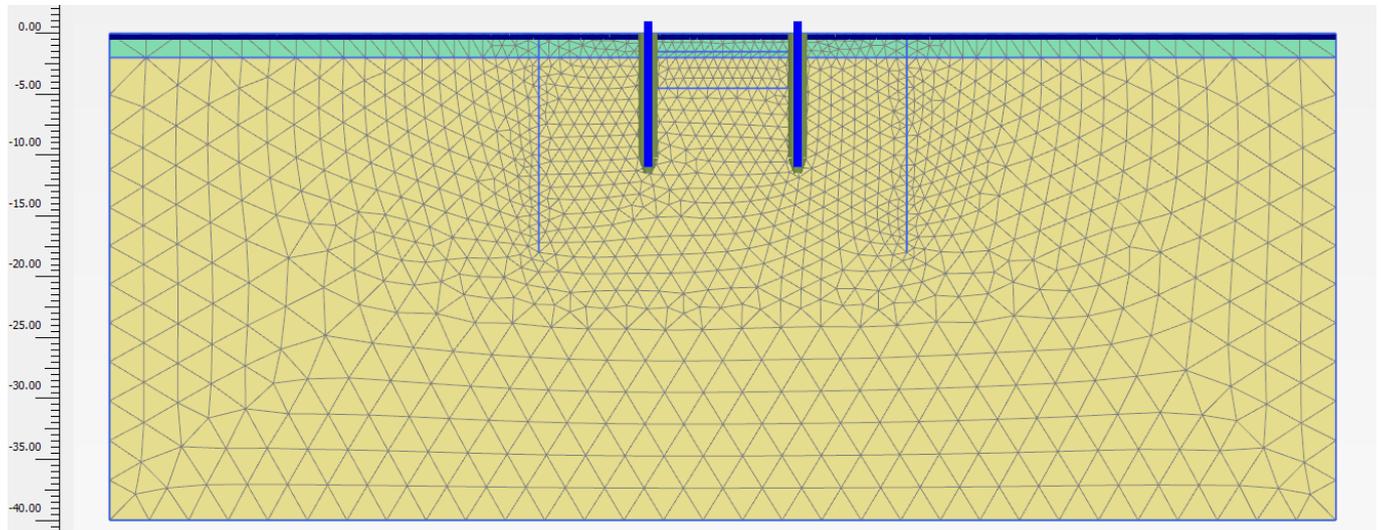


Figura 20 - Sezione 3, Realizzazione palancole

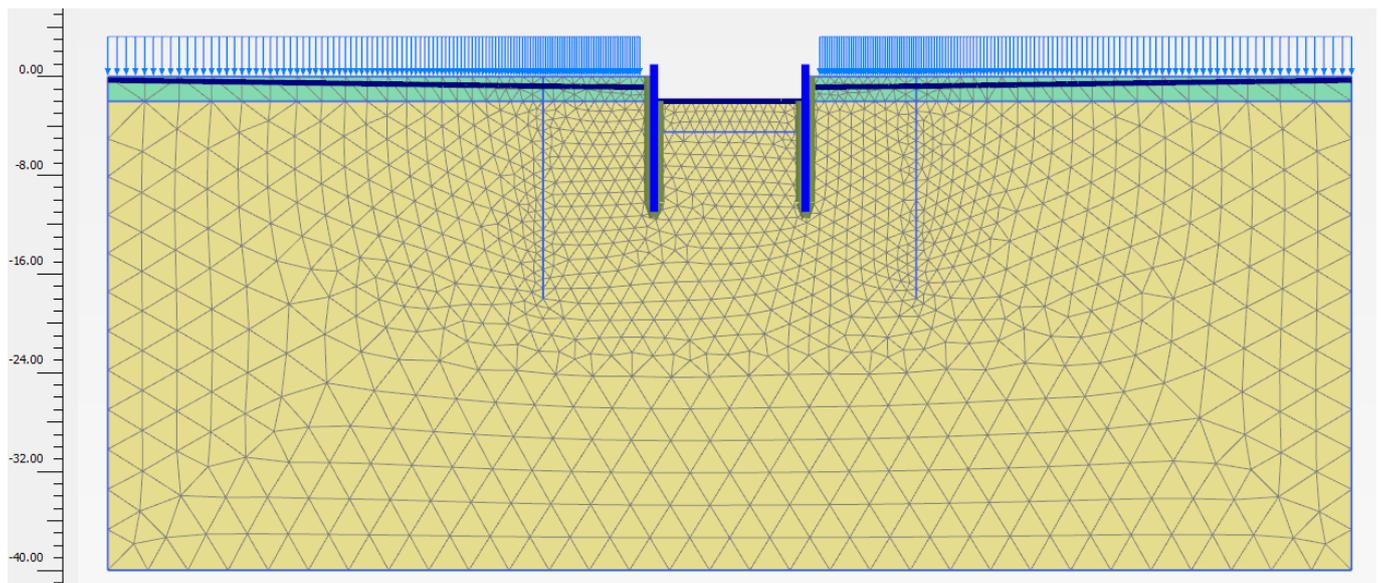


Figura 21 - Sezione 3, Scavo fino a -1.5 m per inserimento contrasto sommitale e applicazione dei carichi

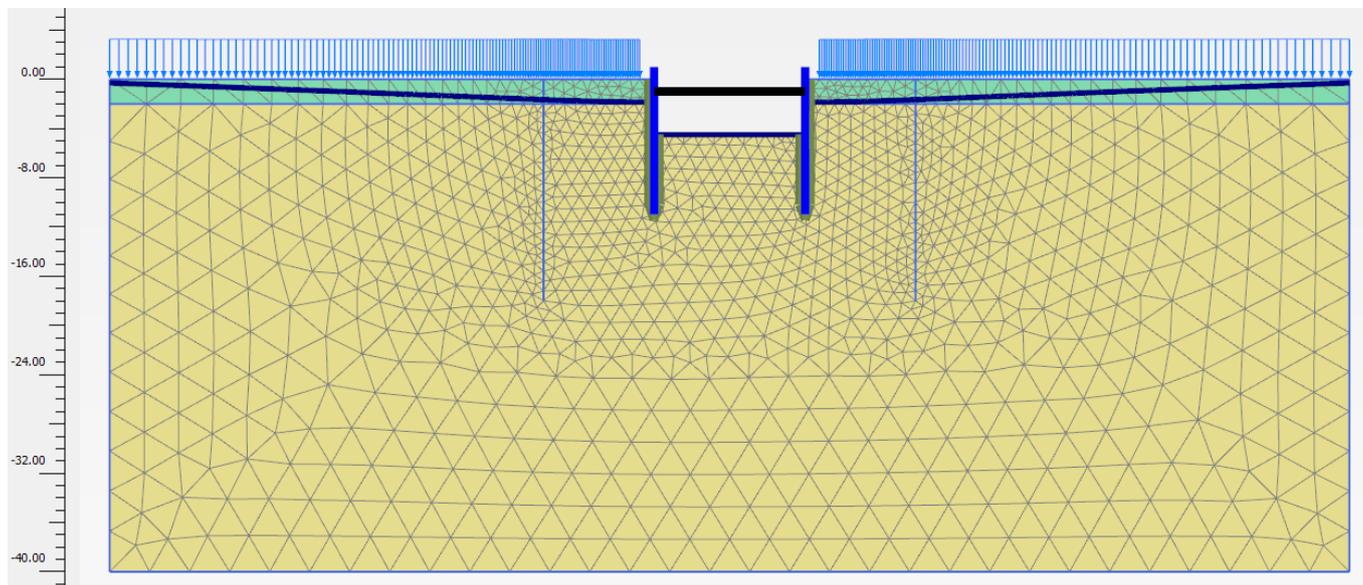


Figura 22 - Sezione 3, Scavo massimo e sistema di contrasto

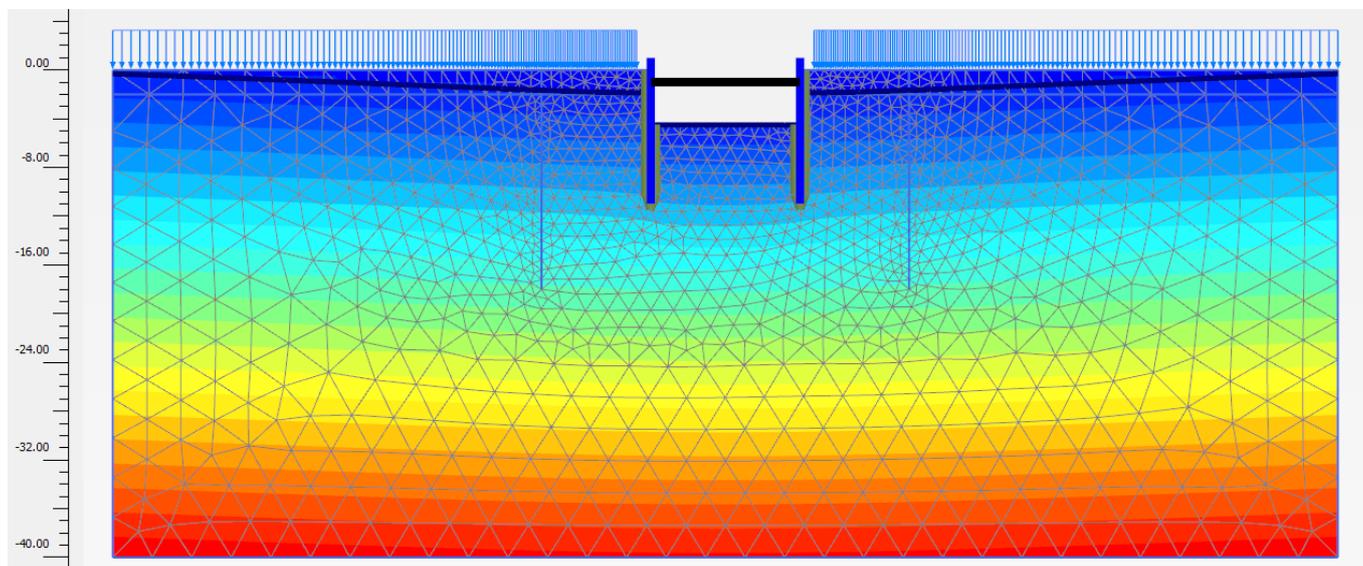


Figura 23 - Sezione 3, Pressioni neutre in fase di massimo scavo con carichi

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 27 di 133	

4.9 Principali risultati delle analisi

Nelle seguenti immagini, per ogni sezione di calcolo, si riporta:

- il campo di spostamenti totali al raggiungimento del fondo scavo massimo;
- gli spostamenti delle palancole in rappresentazione vettoriale;
- le azioni interne di momento flettente, azione assiale e taglio sulle palancole, come involucro di tutte le fasi esecutive modellate;
- la tabella riassuntiva delle azioni interne massime nelle palancole;
- evidenza della verifica di stabilità globale.

4.9.1 Sezione 1

Questa sezione di calcolo presenta palancole PU18 di lunghezza 12.0 m, la falda è prossima al p.c. e lo scavo massimo risulta a quota -3.7 da p.c..

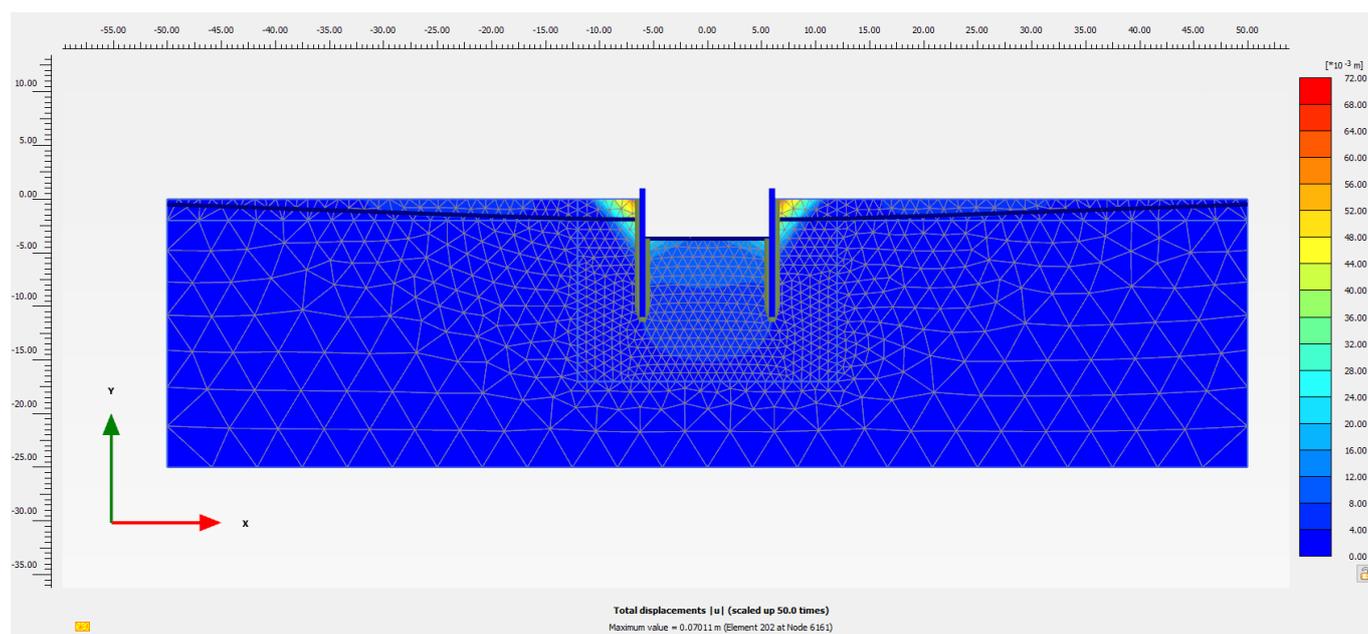


Figura 24 - Sezione 1, Spostamenti totali in fase di scavo massimo

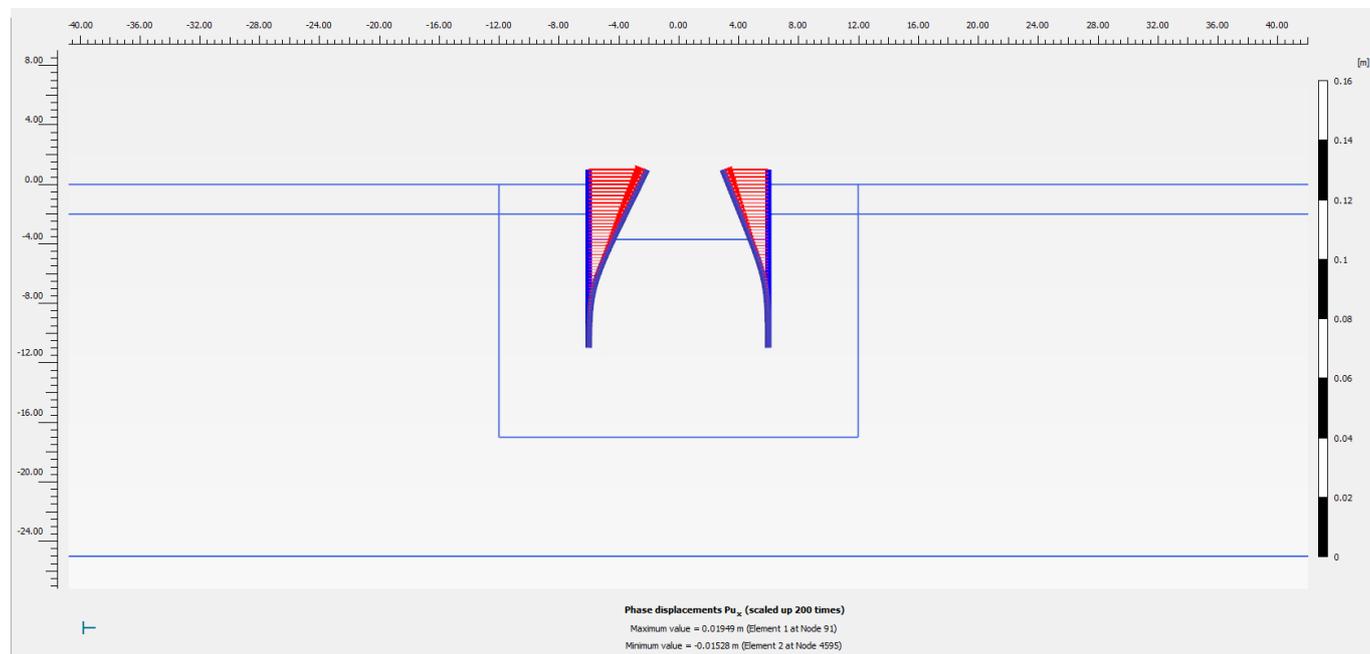


Figura 25 - Sezione 1, Spostamenti totali palancole SLE

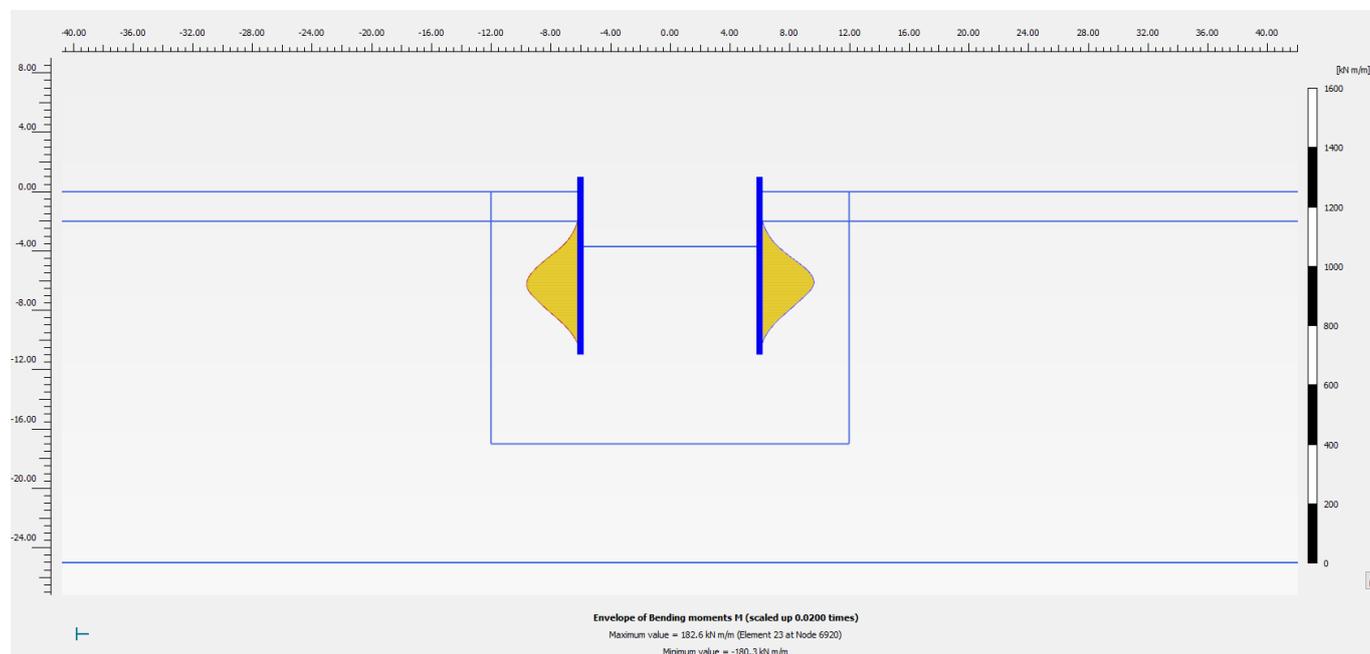


Figura 26 - Sezione1, Involuppo del momento flettente palancole (Fase 5: SLU/1.3)

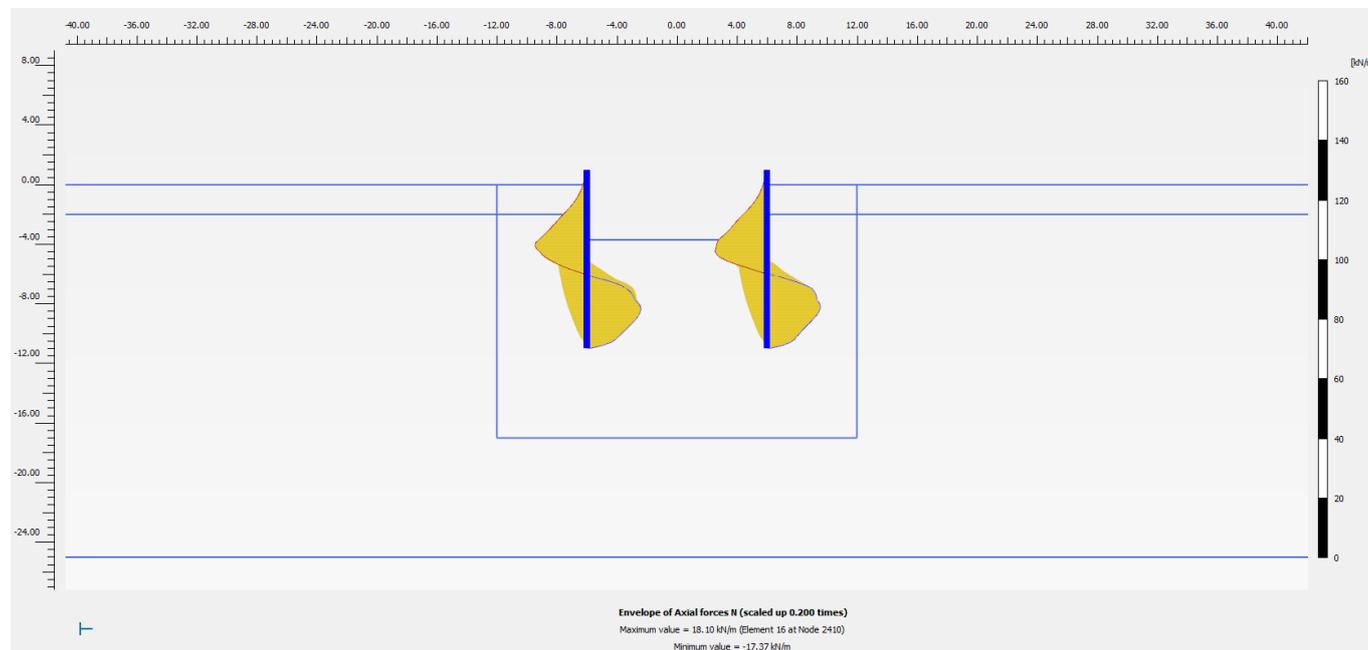


Figura 27 - Sezione 1, Involuppo dell'azione assiale palancole (Fase 5: SLU/1.3)

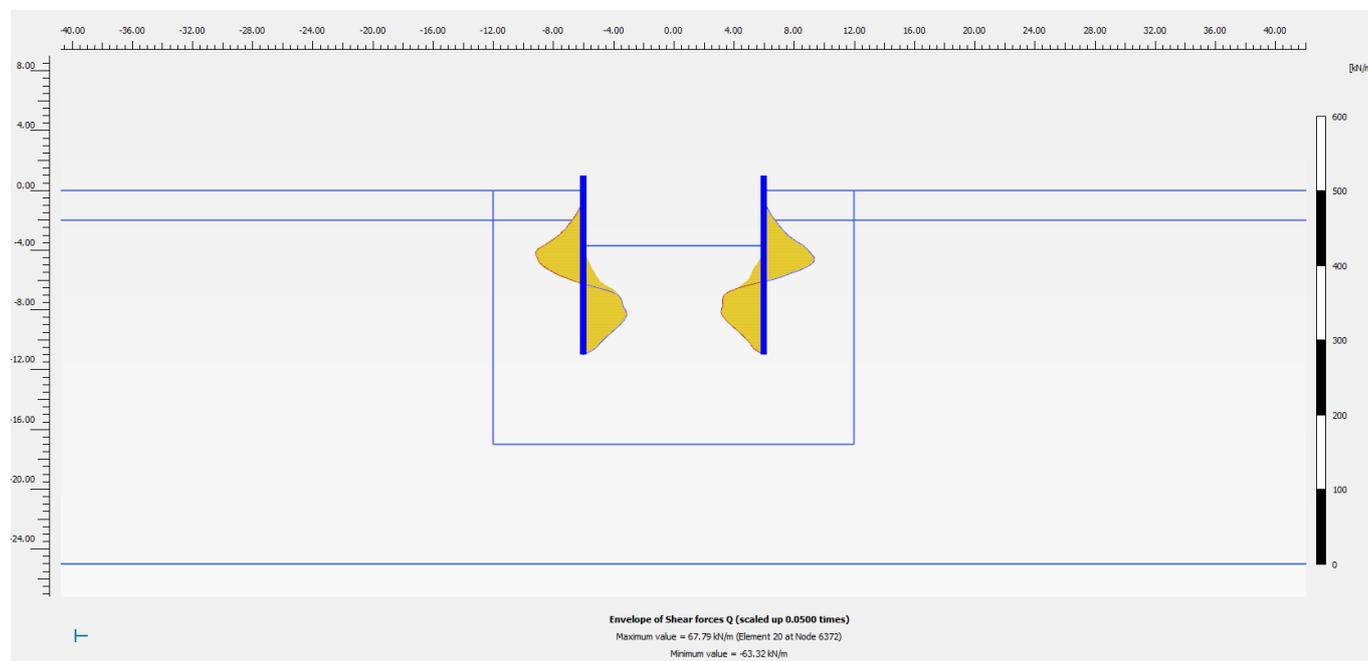


Figura 28 - Sezione 1, Involuppo del taglio palancole (Fase 5: SLU/1.3)

Nella seguente tabella si riportano sinteticamente i massimi risultati in termini di azione interne sulle palancole, finalizzanti le verifiche di resistenza. I valori delle sollecitazioni allo SLU si ottengono amplificando i risultati della fase di calcolo 5 per il coefficiente parziale $\gamma_A = 1.3$, in accordo a quanto esplicitato nel precedente paragrafo 4.8.

Tabella 5 - Sintesi risultati palancole

Paratia di Palancole	Fase 5: SLU/1.3	SLU
azione assiale massima, Nmax [kN/m]	18.1	23.5
momento massimo, Mmax [kNm/m]	182.6	237.4
taglio massimo, Tmax [kN/m]	67.8	88.1
Spostamento max [mm]	19	

Nelle seguenti immagini si espongono nell'ordine il campo di spostamenti globali e i punti di plasticizzazione ottenuti al termine dell'analisi *c-φ-reduction* effettuata con la finalità di soddisfare la verifica di stabilità globale dell'opera in condizioni di scavo massimo. Nella successiva immagine si riporta anche il diagramma dell'incremento del fattore di sicurezza con lo spostamento totale di un punto di controllo. Quest'ultimo evidenzia che il fattore di sicurezza alla stabilità globale ottenuto è superiore al minimo imposto dalla normativa, pari a 1.375, pertanto la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

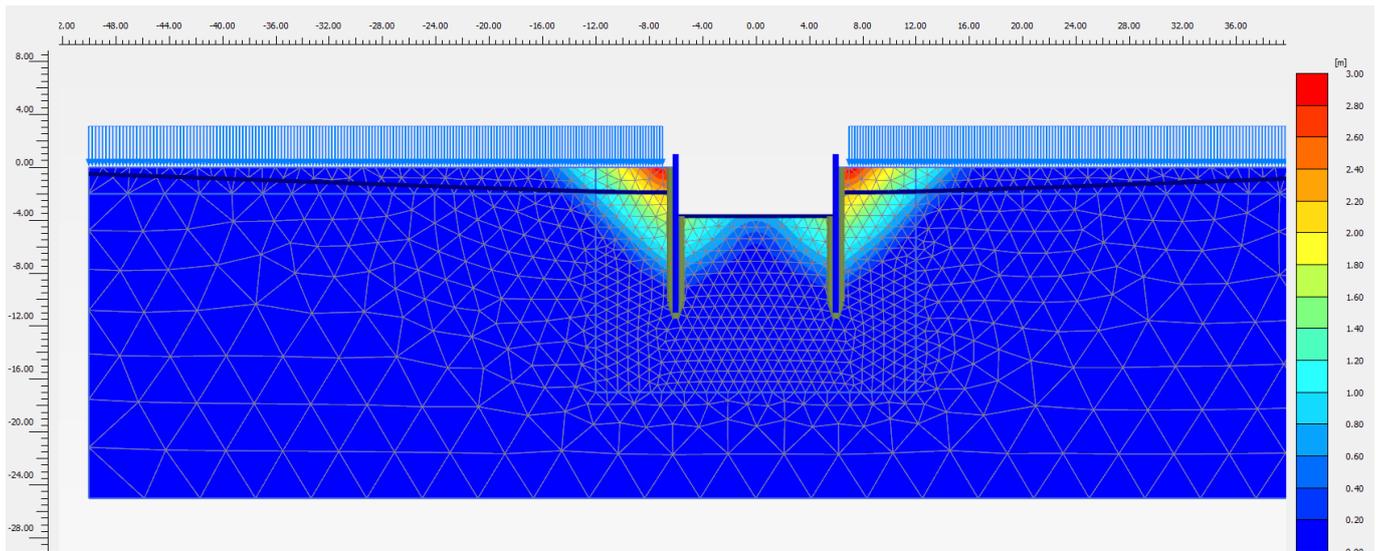


Figura 29 - Sezione 1, Individuazione del cinematismo di potenziale instabilità

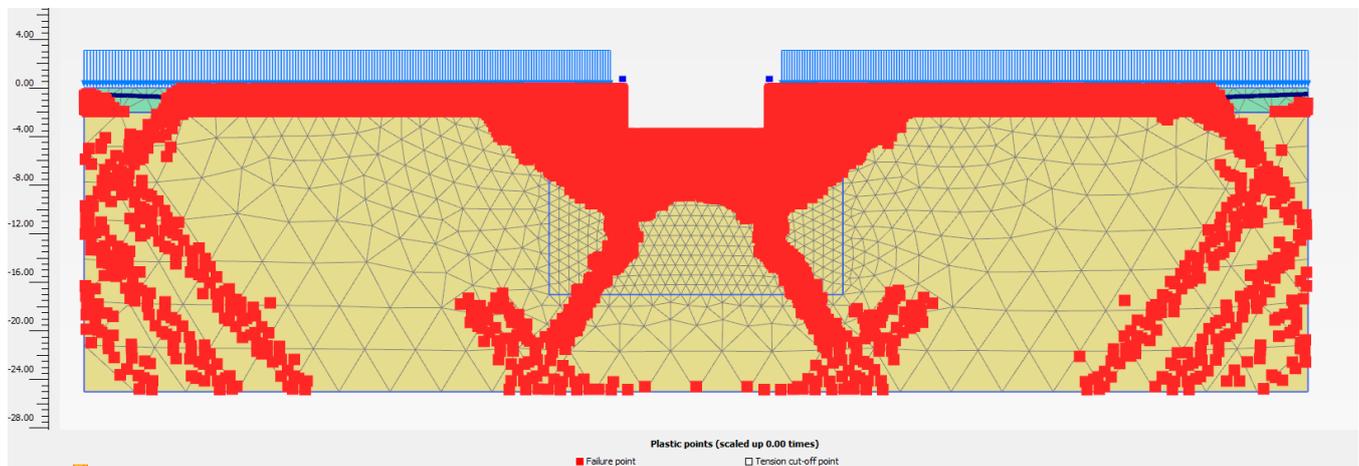


Figura 30 - Sezione 1, Punti di plasticizzazione al termine della verifica di stabilità globale

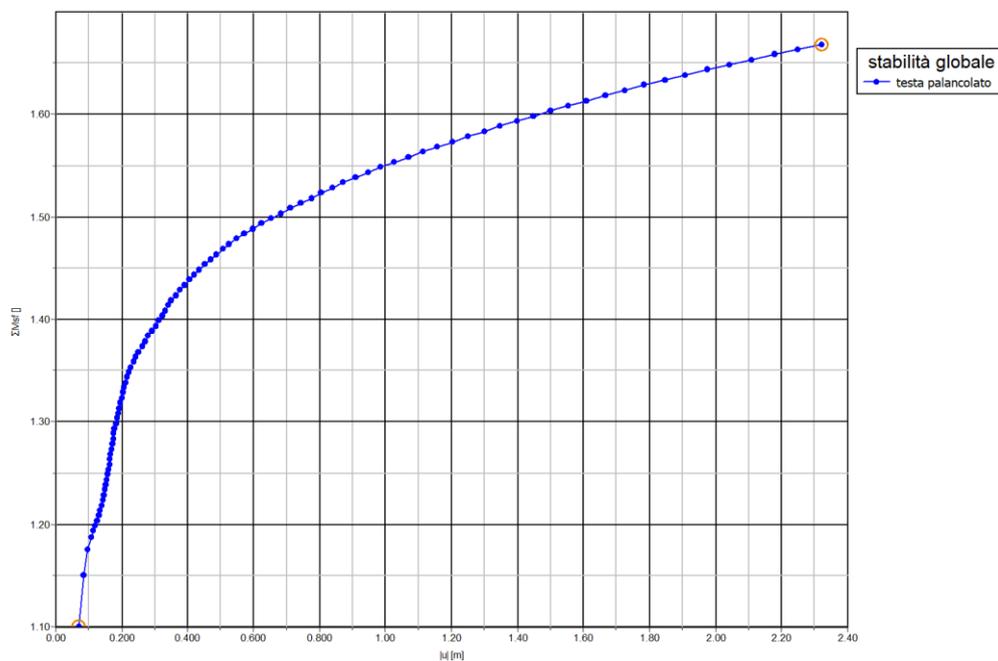


Figura 31 - Sezione 1, Sicurezza alla stabilità globale vs spostamento totale del punto di controllo ($FS > 1.1 \times 1.25 = 1.375$)

4.9.2 Sezione 2

Questa sezione di calcolo presenta palancole PU22 di lunghezza 15.0 m, la falda è prossima al p.c. e lo scavo massimo risulta di circa -6.4 m da p.c..

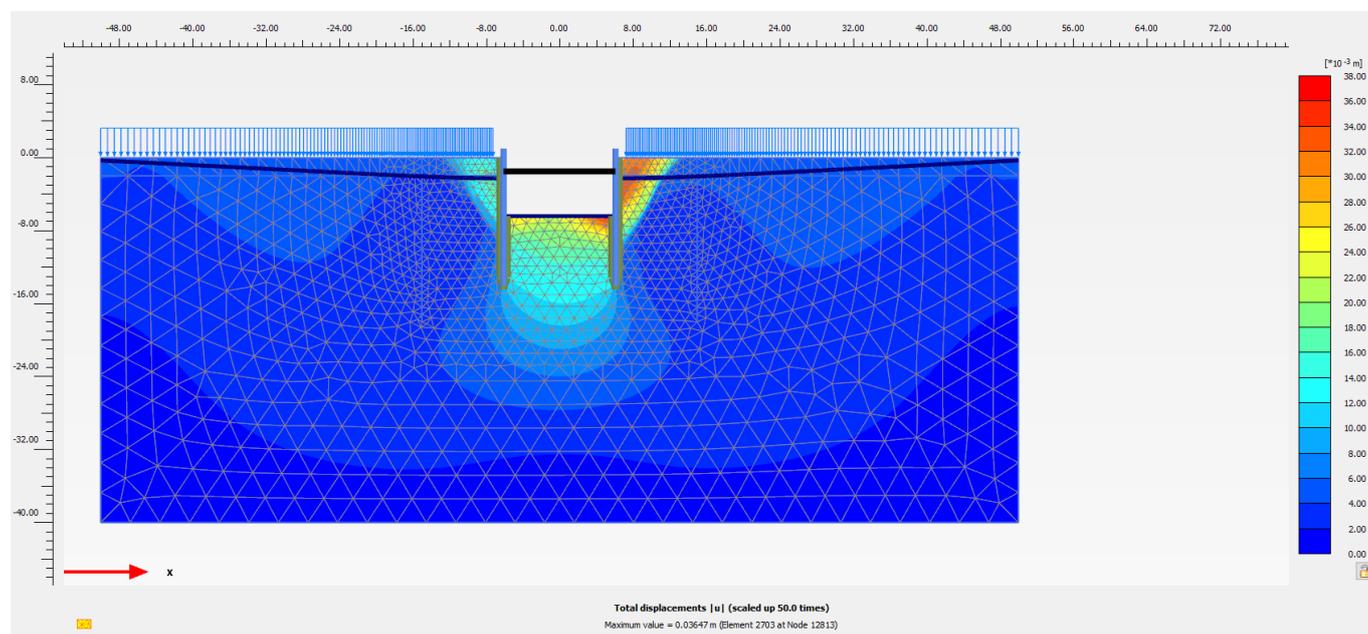


Figura 32 – Sezione 2, Spostamenti totali in fase di scavo massimo

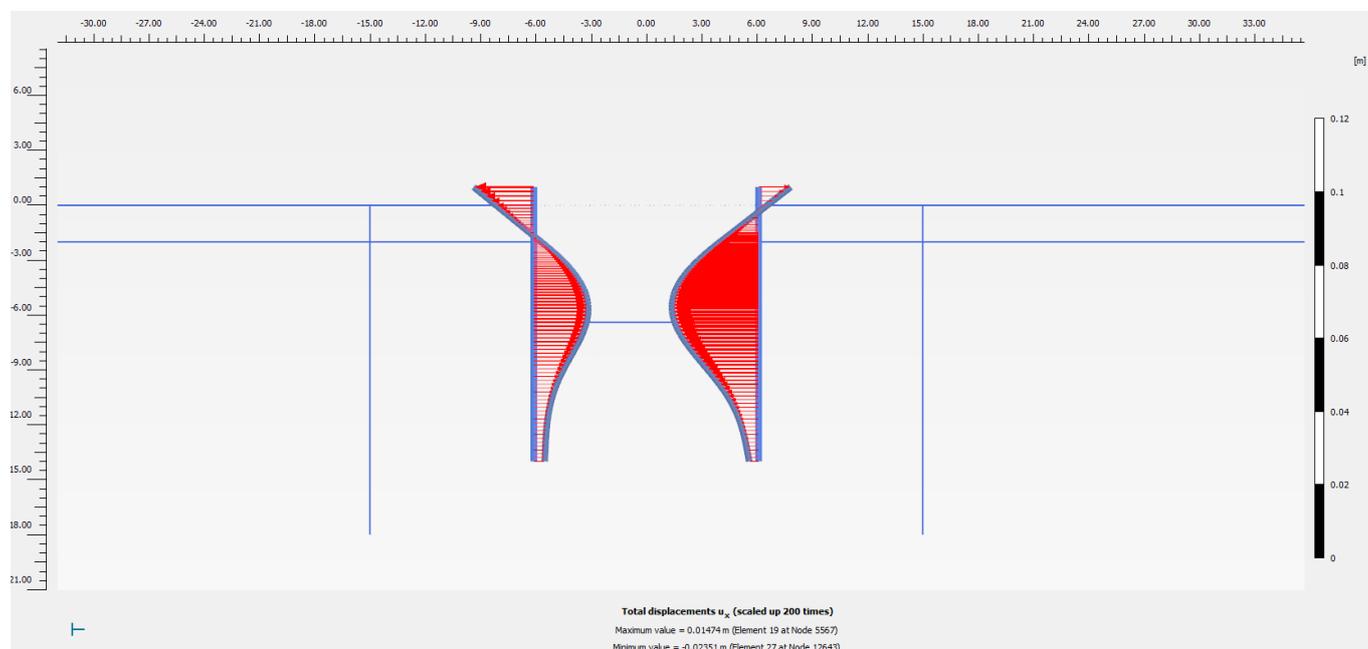


Figura 33 - Sezione 2, Spostamenti totali palancole SLE

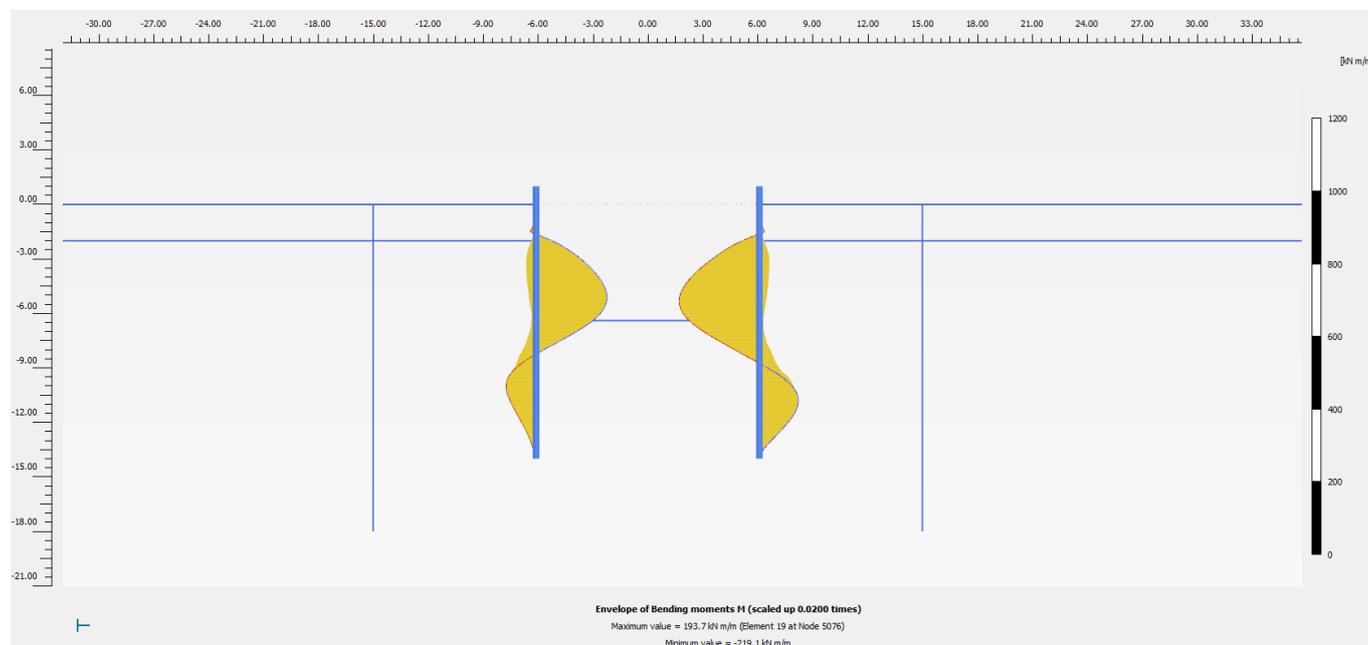


Figura 34 – Sezione 2, Involuppo del momento flettente palancole (Fase 5: SLU/1.3)

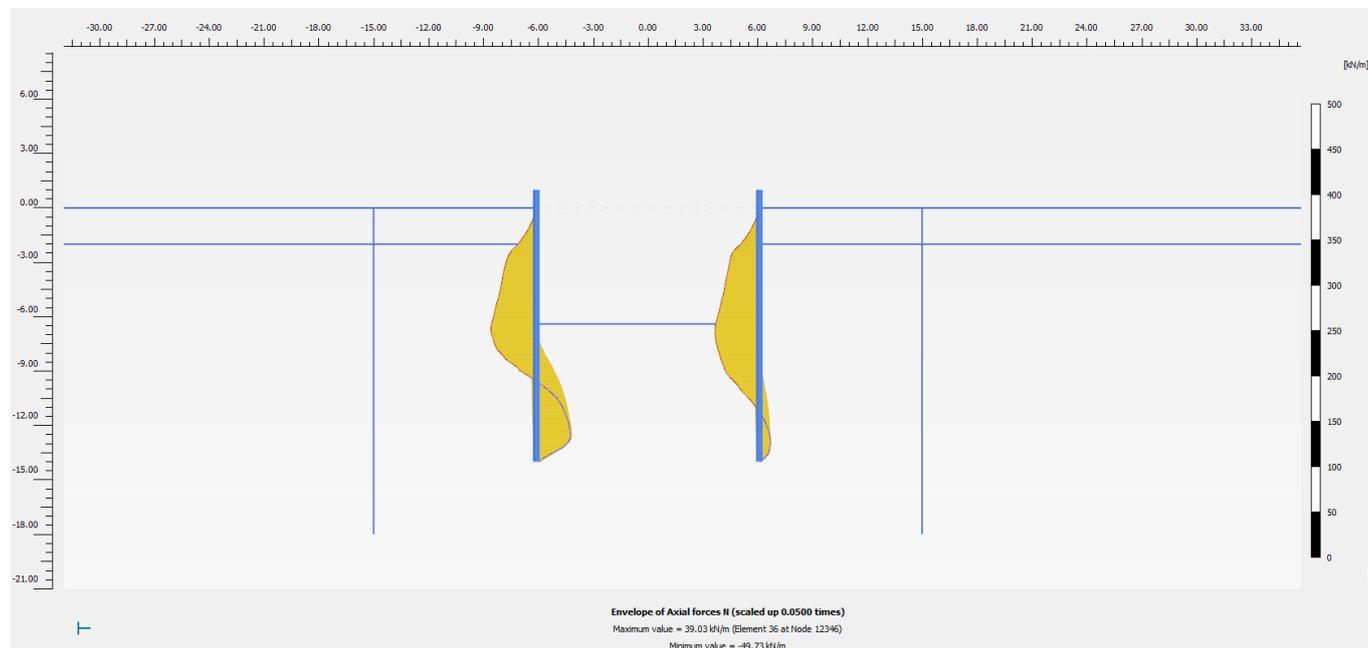


Figura 35 - Sezione 2, Involuppo dell'azione assiale palancole (Fase 5: SLU/1.3)

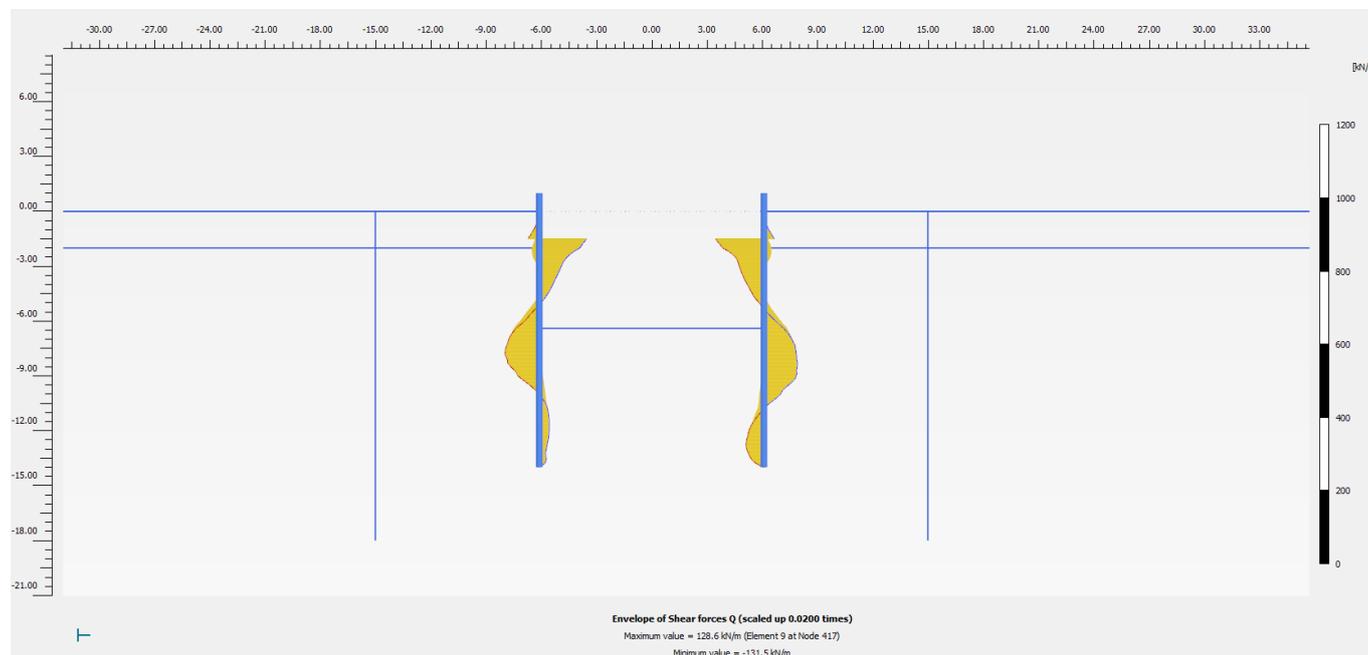


Figura 36 - Sezione 2, Involuppo del taglio palancole (Fase 5: SLU/1.3)

Nella seguente tabella si riportano sinteticamente i massimi risultati in termini di azione interne sulle palancole, finalizzanti le verifiche di resistenza. I valori delle sollecitazioni allo SLU si ottengono amplificando i risultati della fase di calcolo 5 per il coefficiente parziale $\gamma_A = 1.3$, in accordo a quanto esplicitato nel precedente paragrafo 4.8.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 34 di 133	

Tabella 6 - Sintesi risultati palancole

Paratia di Palancole	Fase 5:SLU/1.3	SLU
azione assiale massima, Nmax [kN/m]	49.7	59.0
momento massimo, Mmax [kNm/m]	219.1	284.8
taglio massimo, Tmax [kN/m]	131.5	171.0
Sollecitazione massima sul sistema di contrasto [kN]	965	1254.5
Spostamento max [mm]	23	

Nelle seguenti immagini si espongono nell'ordine il campo di spostamenti globali e i punti di plasticizzazione ottenuti al termine dell'analisi *c-φ-reduction* effettuata con la finalità di soddisfare la verifica di stabilità globale dell'opera in condizioni di scavo massimo. Nella successiva immagine si riporta anche il diagramma dell'incremento del fattore di sicurezza con lo spostamento totale di un punto di controllo. Quest'ultimo evidenzia che il fattore di sicurezza alla stabilità globale ottenuto è superiore al minimo imposto dalla normativa, pari a 1.375, pertanto la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

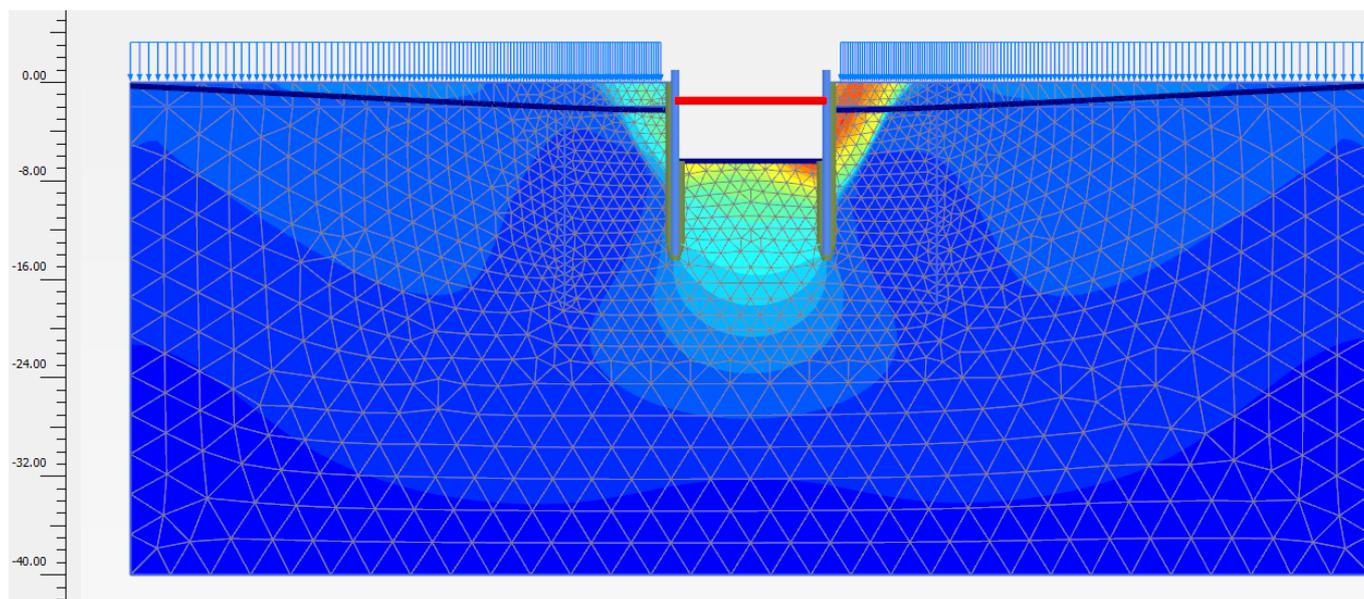


Figura 37 - Sezione 2, Individuazione del cinematiso di potenziale instabilità

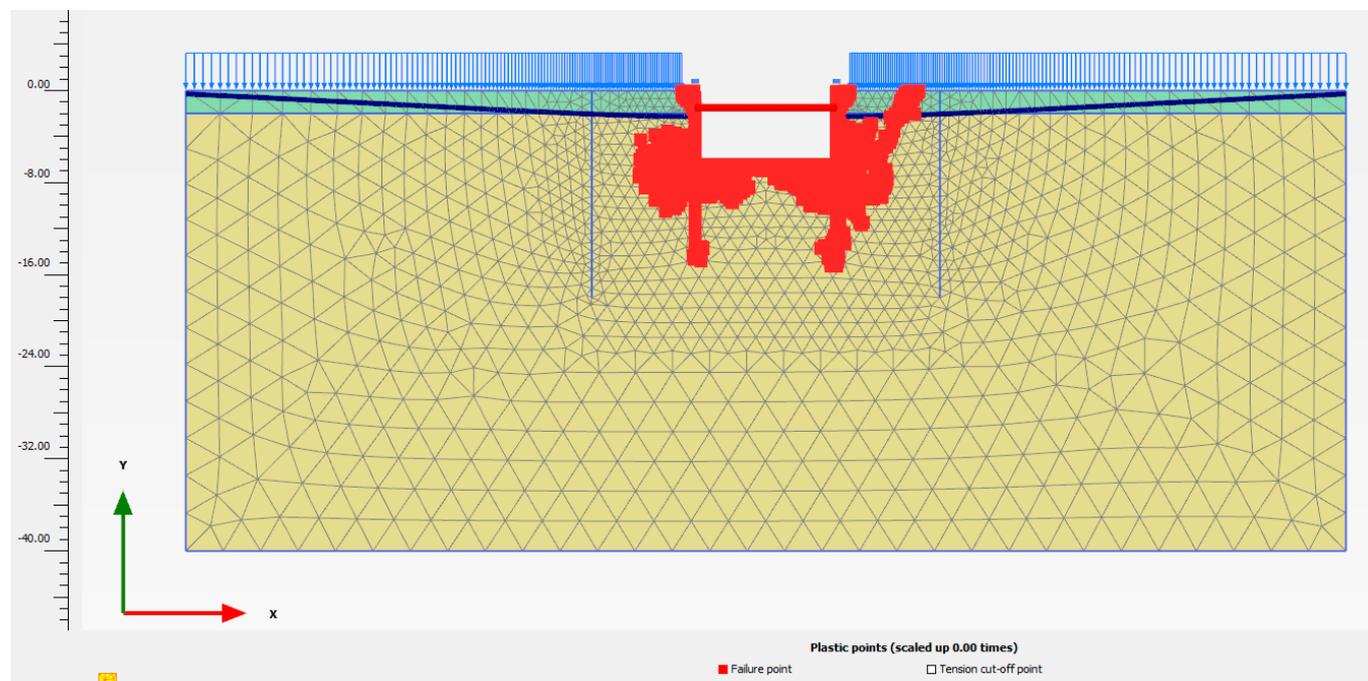


Figura 38 - Sezione 2, Punti di plasticizzazione al termine della verifica di stabilità globale

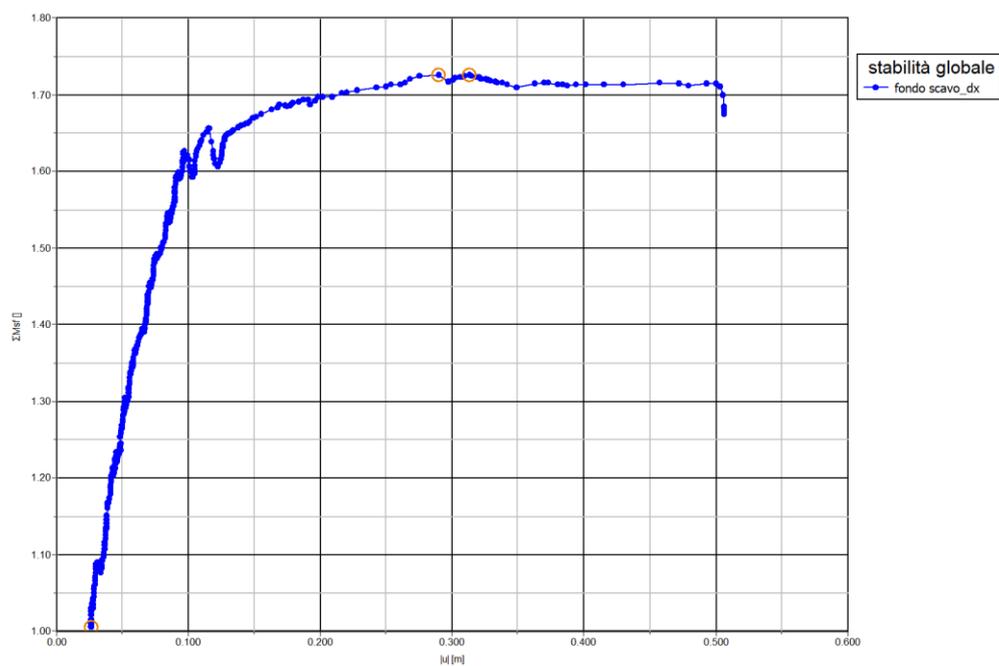


Figura 39 - Sezione 2, Sicurezza alla stabilità globale vs spostamento totale del punto di controllo ($FS > 1.1 \times 1.25 = 1.375$)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001</p>	<p>Rev. C</p>	<p>Foglio 36 di 133</p>

4.9.3 Sezione 3

Questa sezione di calcolo presenta palancole PU18 di lunghezza 12.0 m, la falda è prossima al p.c. e lo scavo massimo risulta di circa -4.5 m da p.c..

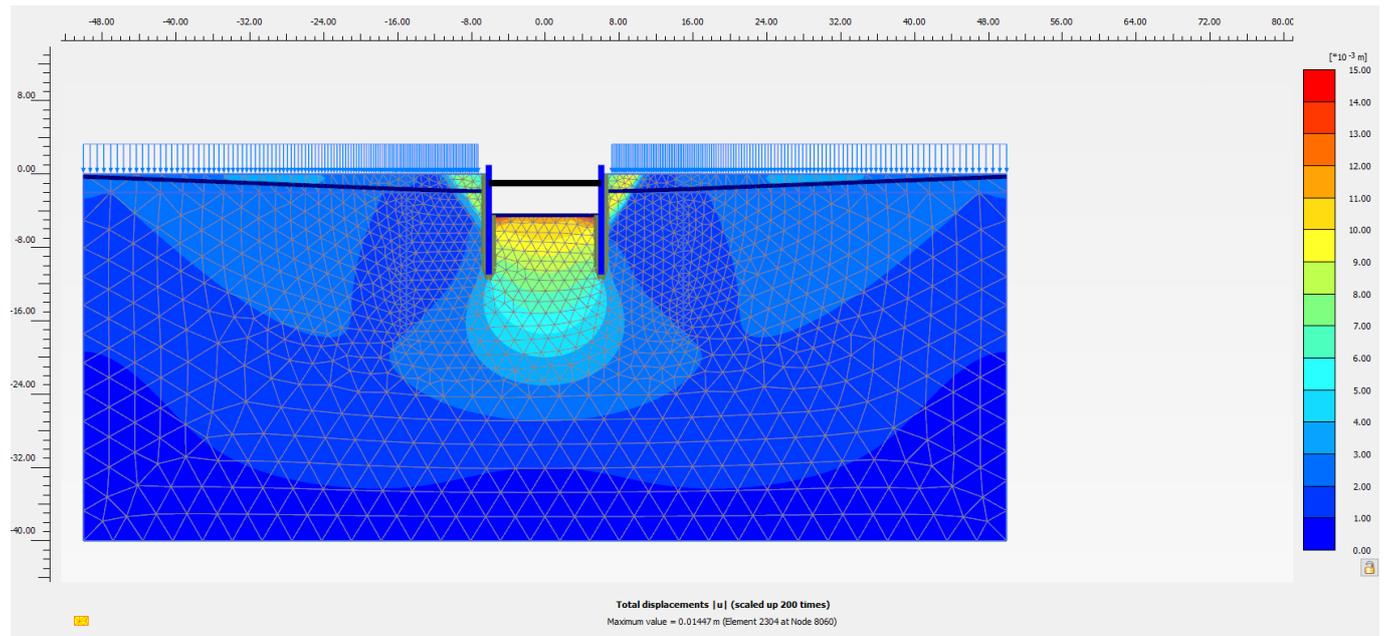


Figura 40 – Sezione 3, Spostamenti totali in fase di scavo massimo

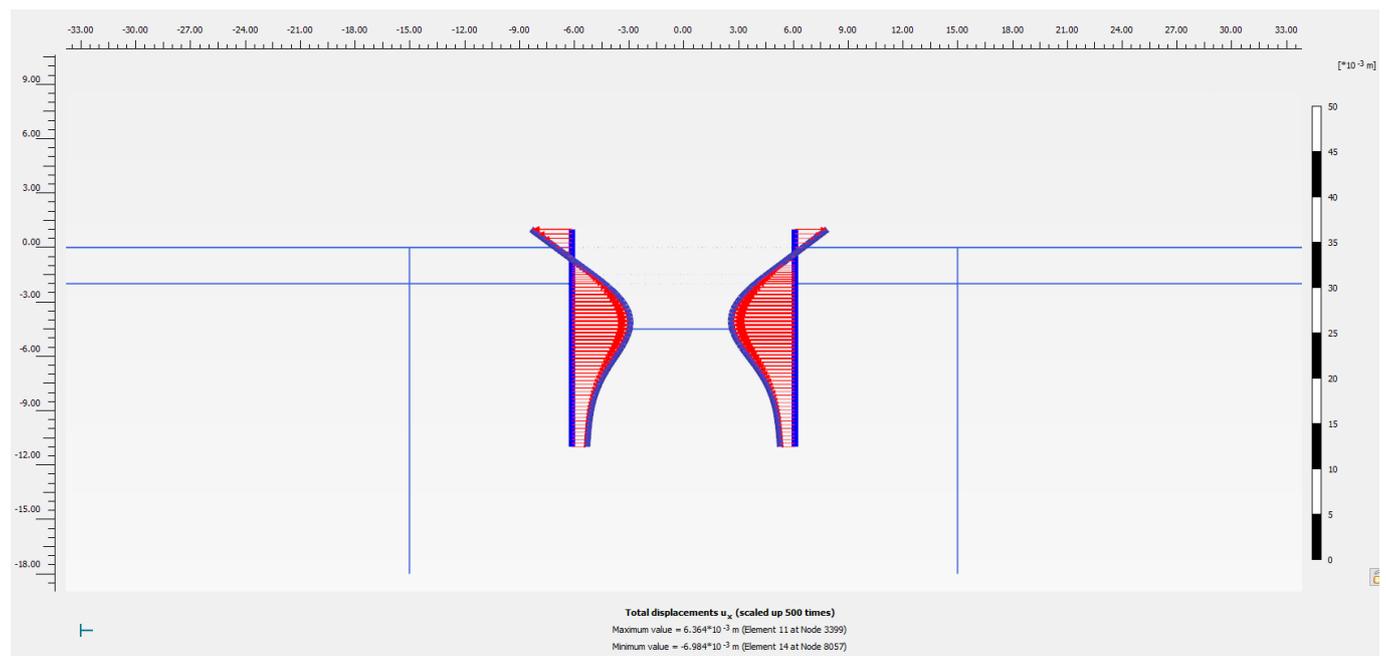


Figura 41 - Sezione 3, Spostamenti totali palancole SLE

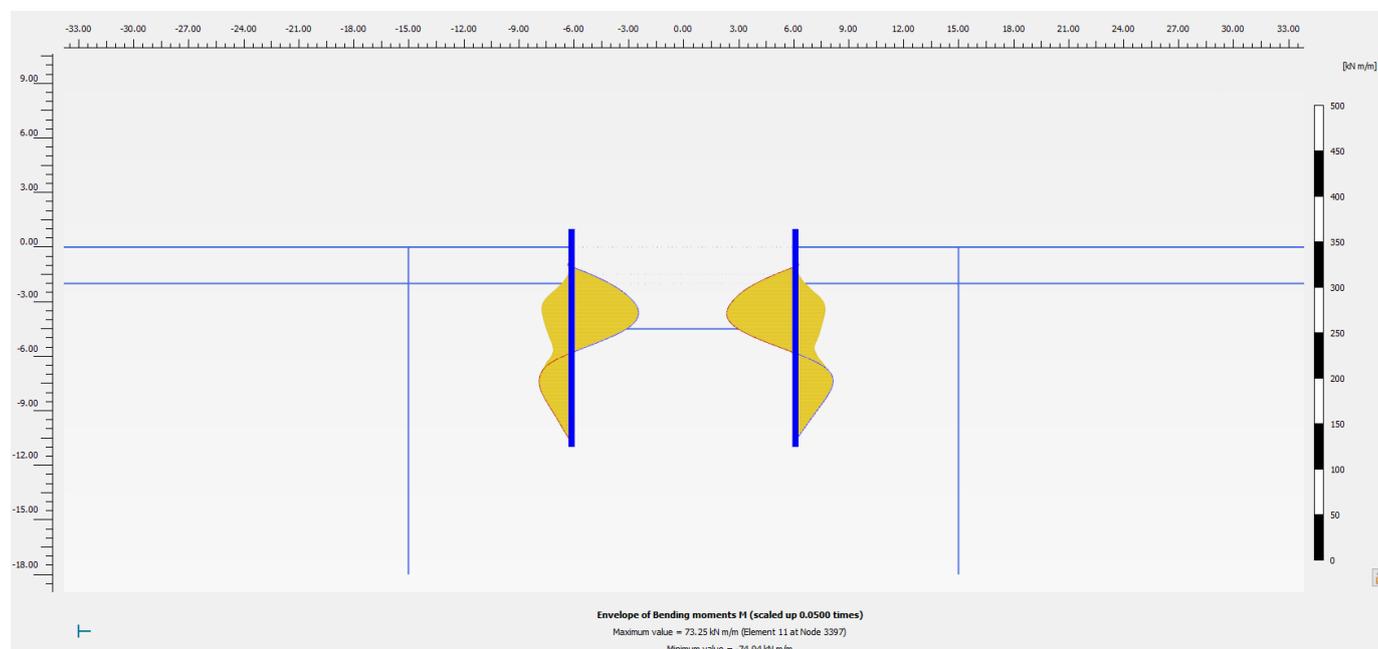


Figura 42 – Sezione 3, Involuppo del momento flettente palancole (Fase 5: SLU/1.3)

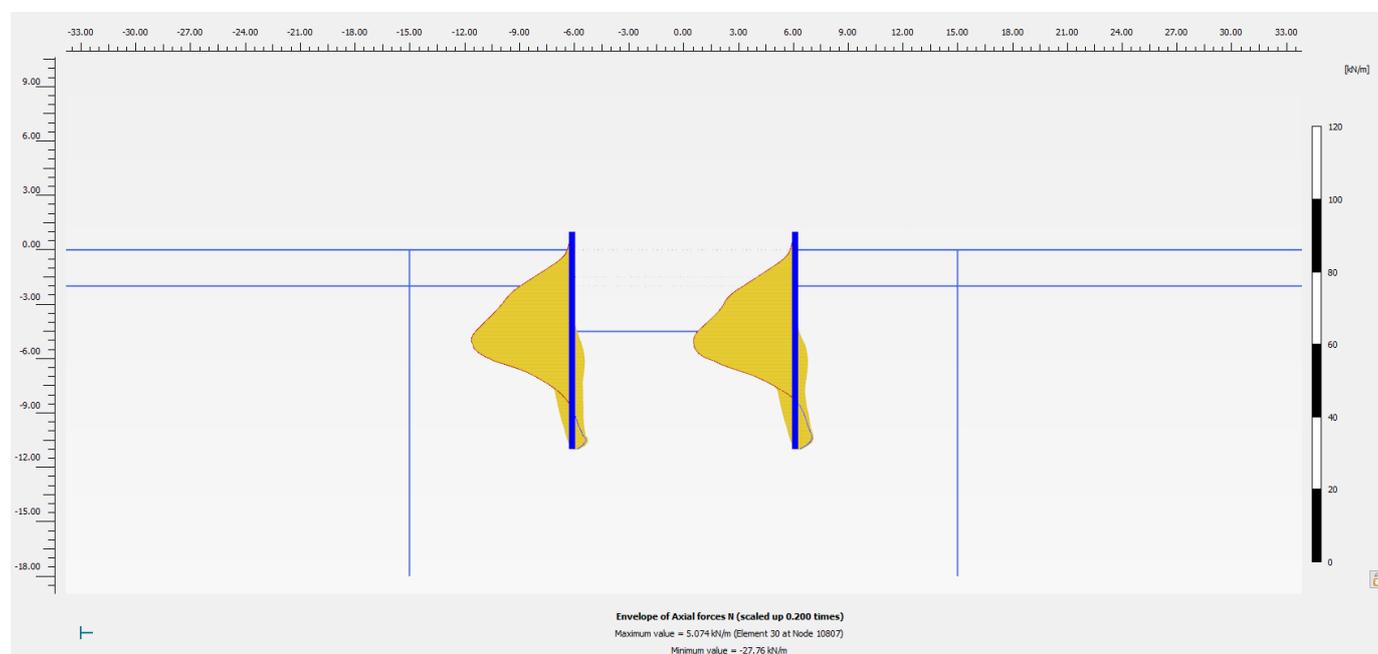


Figura 43 - Sezione 3, Involuppo dell'azione assiale palancole (Fase 5: SLU/1.3)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 38 di 133

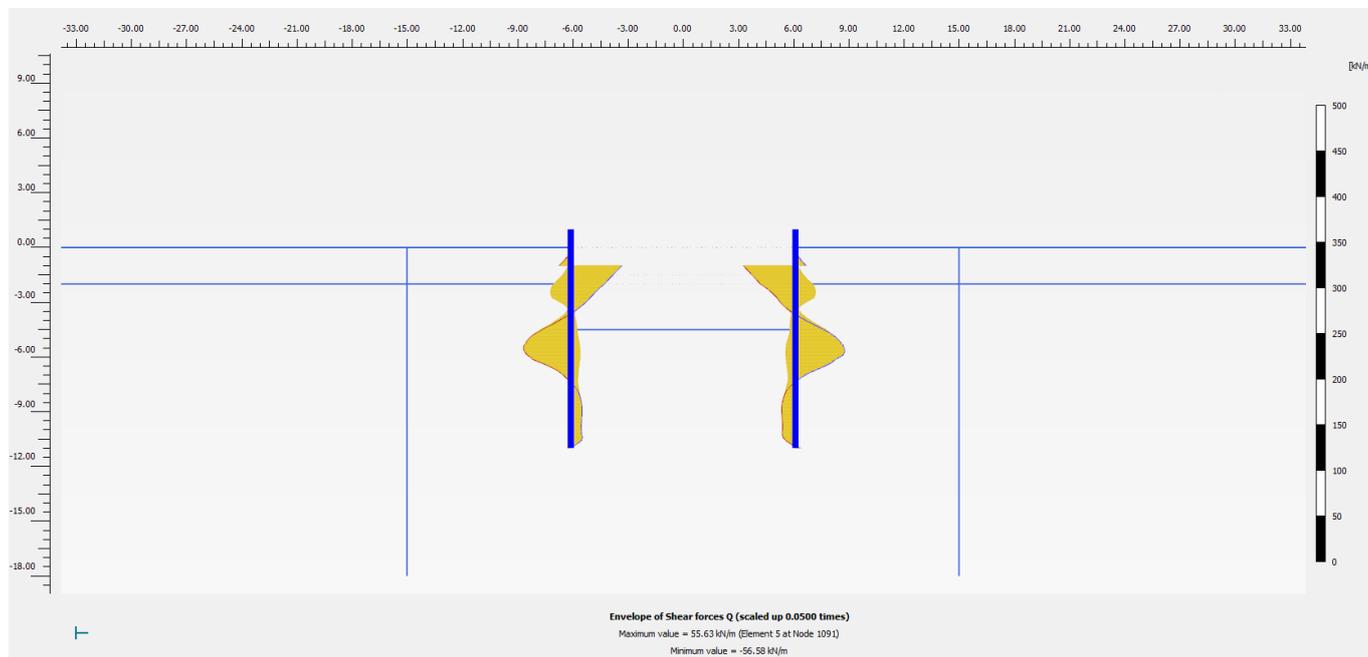


Figura 44 - Sezione 3, Involuppo del taglio palancole (Fase 5: SLU/1.3)

Nella seguente tabella si riportano sinteticamente i massimi risultati in termini di azione interne sulle palancole, finalizzanti le verifiche di resistenza. I valori delle sollecitazioni allo SLU si ottengono amplificando i risultati della fase di calcolo 5 per il coefficiente parziale $\gamma_A = 1.3$, in accordo a quanto esplicitato nel precedente paragrafo 4.8.

Tabella 7 - Sintesi risultati palancole

Paratia di Palancole	Fase 5:SLU/1.3	SLU
azione assiale massima, N_{max} [kN/m]	27.8	36.1
momento massimo, M_{max} [kNm/m]	74.9	96.5
taglio massimo, T_{max} [kN/m]	56.6	71.4
Sollecitazione massima sul sistema di contrasto [kN]	408.9	531.6
Spostamento max [mm]	7	

Nelle seguenti immagini si espongono nell'ordine il campo di spostamenti globali e i punti di plasticizzazione ottenuti al termine dell'analisi *c-φ-reduction* effettuata con la finalità di soddisfare la verifica di stabilità globale dell'opera in condizioni di scavo massimo. Nella successiva immagine si riporta anche il diagramma dell'incremento del fattore di sicurezza con lo spostamento totale di un punto di controllo. Quest'ultimo evidenzia che il fattore di sicurezza alla stabilità globale ottenuto è superiore al minimo imposto dalla normativa, pari a 1.375, pertanto la verifica di stabilità globale è soddisfatta.

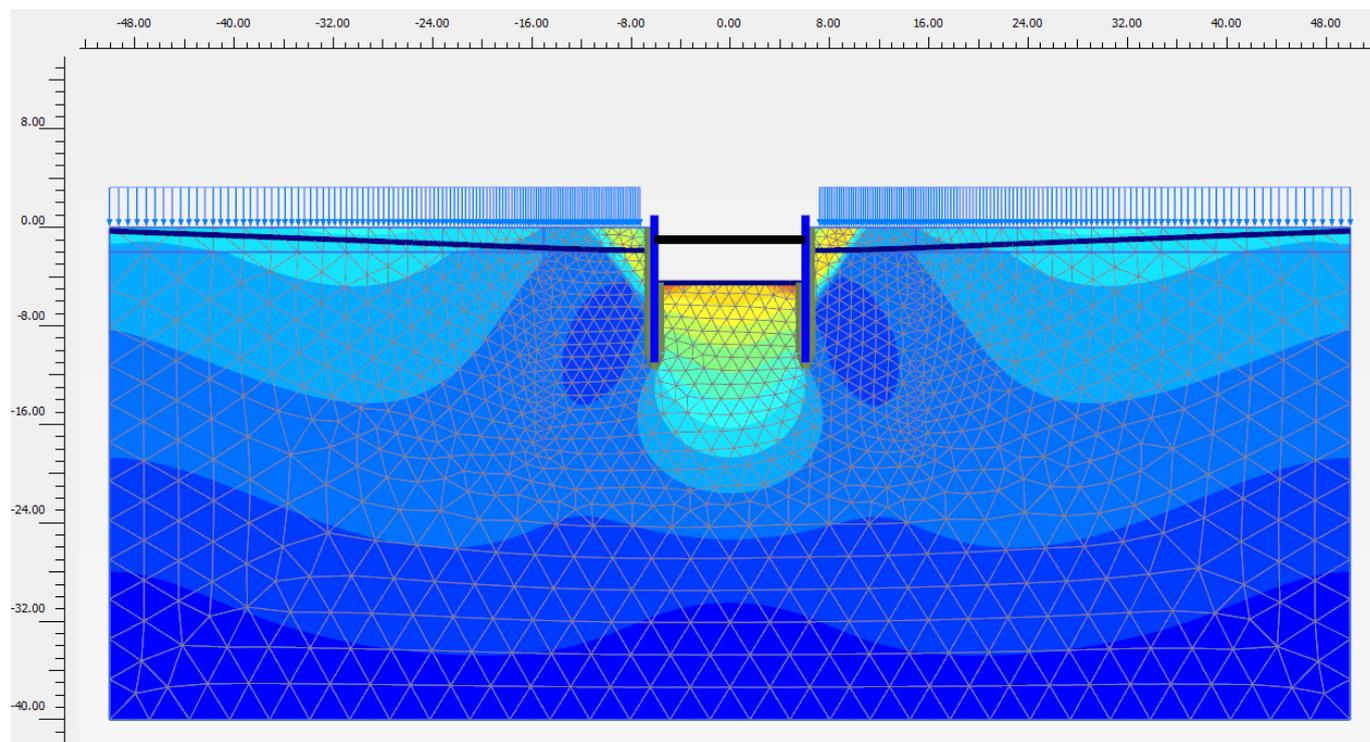


Figura 45 - Sezione 3, Individuazione del cinemismo di potenziale instabilità

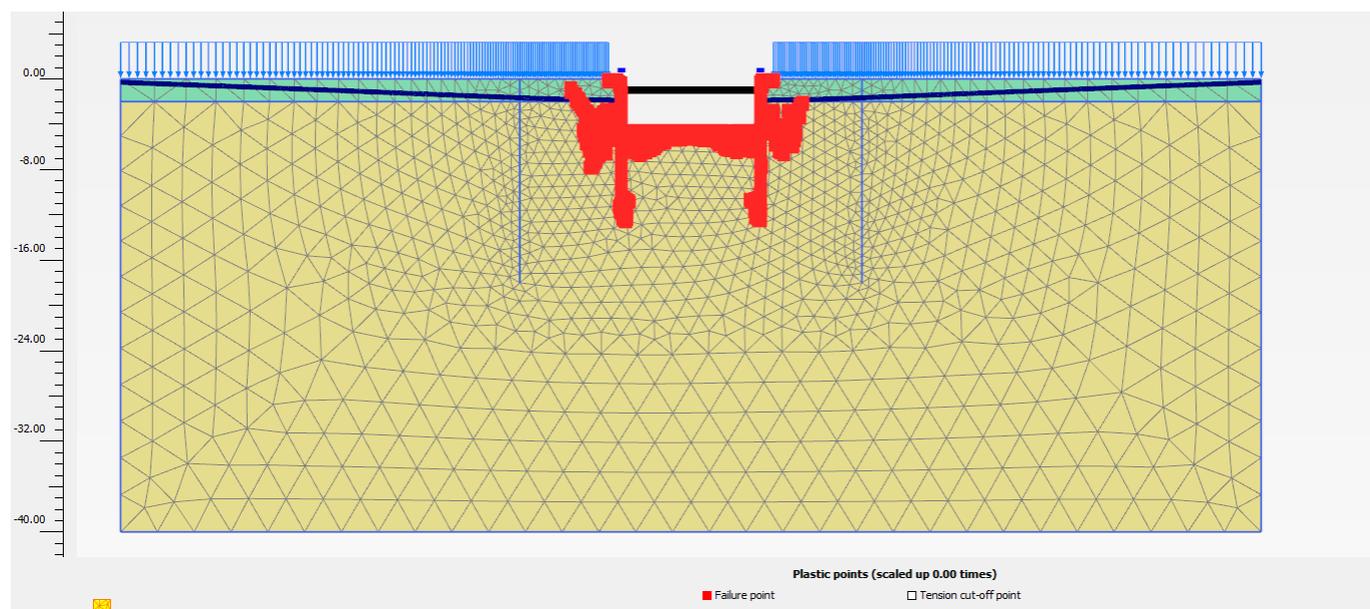


Figura 46 - Sezione 3, Punti di plasticizzazione al termine della verifica di stabilità globale

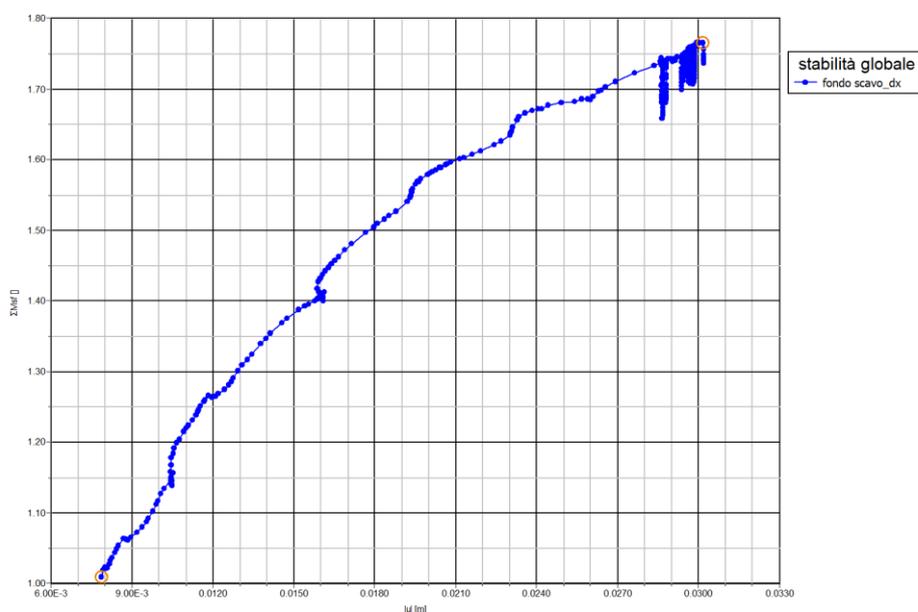


Figura 47 - Sezione 3, Sicurezza alla stabilità globale vs spostamento totale del punto di controllo ($FS > 1.1 \times 1.25 = 1.375$)

4.9.4 Stima portate di emungimento

Si fornisce una stima delle portate di emungimento per le sezioni di calcolo esaminate, in particolare con riferimento alle altezze di scavo 3.7 m (P12) e massima di 6.4 m (P16). Per l'analisi eseguita, si fornisce nelle figure seguenti una stima della portata di aggotamento: 153-493 m³/giorno (rispettivamente per minima e massima altezza di scavo), valutata considerando il problema simmetrico e quindi moltiplicando per due la stima di portata (q) desunta dalla seguente sezione (A-A) e considerando una lunghezza (L) amplificata cautelativamente del 20%. Tale stima di portata è puramente indicativa e per il dimensionamento del sistema di emungimento dovranno essere applicati fattori di sicurezza almeno pari a 4.

Sezione di calcolo 1 – P12		
q=	8.49E ⁻⁰⁵	m ³ /s/m
L=	10.4	m
Qtot=	153	m ³ /day

Sezione di calcolo 2 – P16		
q=	1.93 ⁻⁰⁴	m ³ /s/m
L=	14.8	m
Qtot=	493	m ³ /day

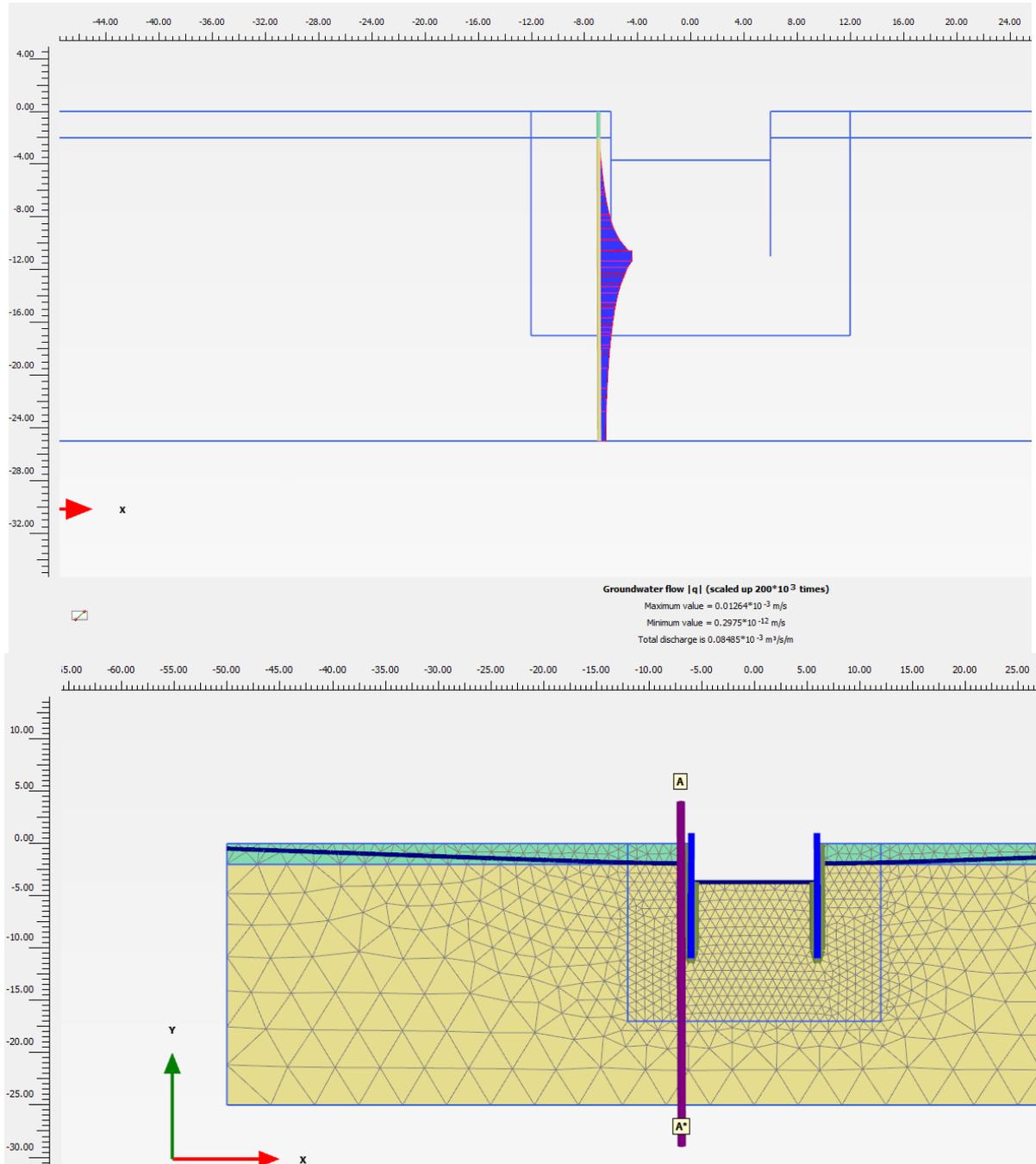


Figura 48 - Sezione A-A per la sezione di calcolo 1 – stima portata q

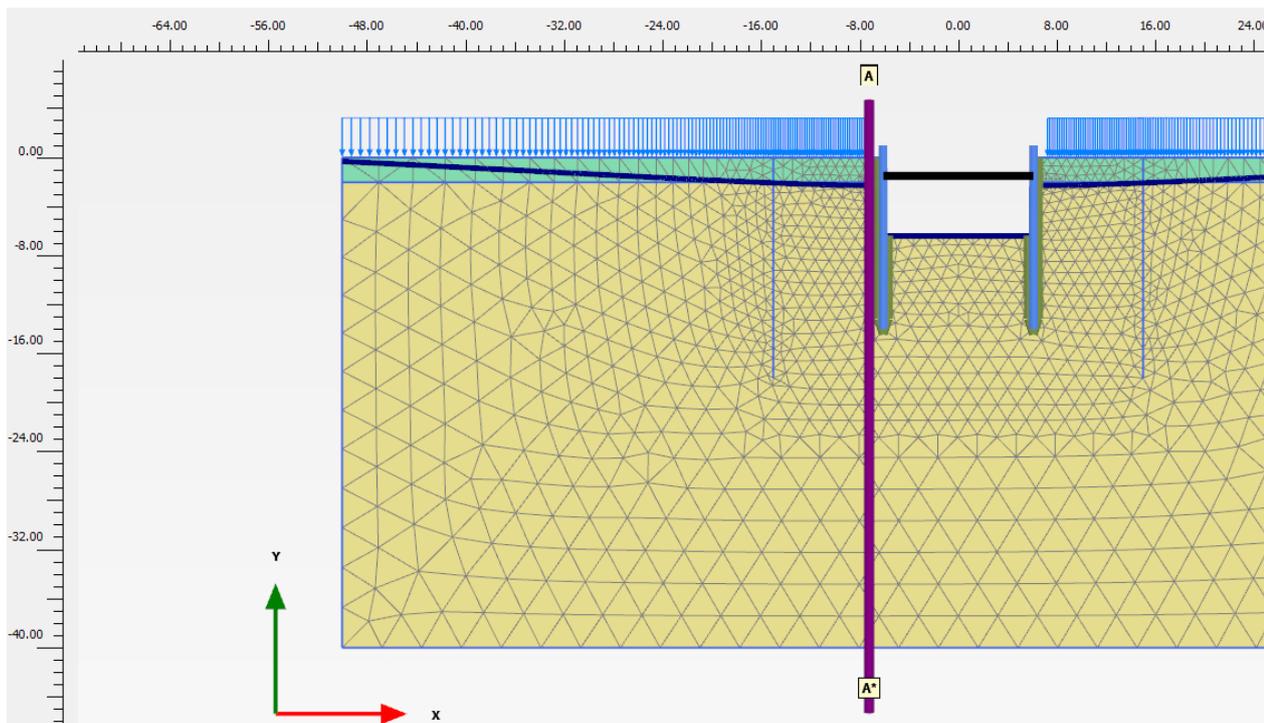
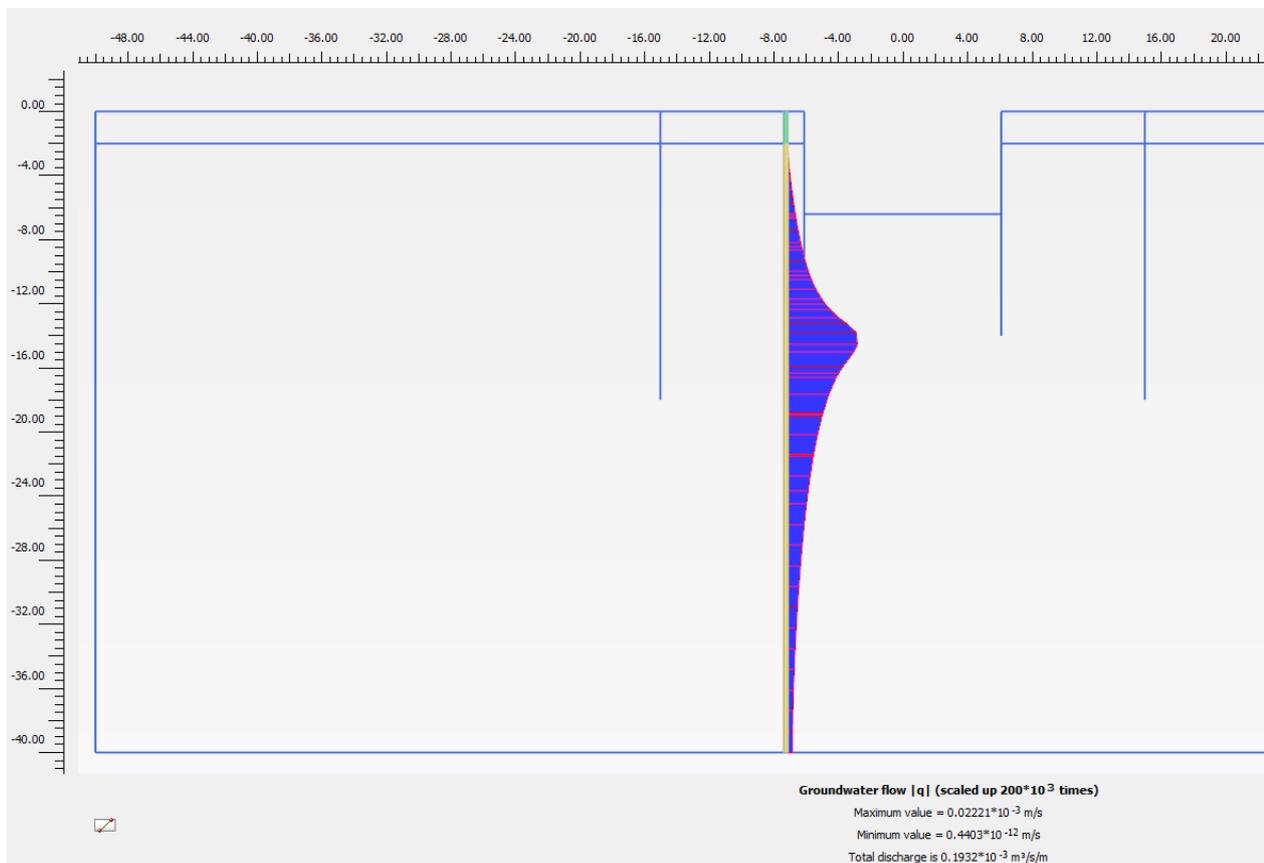


Figura 49 - Sezione A-A per la sezione di calcolo 2 – stima portata q

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 43 di 133	

4.10 Verifiche di resistenza palancole

Per le palancole si adotta la metodologia di verifica in accordo con la normativa italiana vigente (N.T.C.'08) e con l'Eurocodice 3 (EN 1993-5). Per le verifiche si considera cautelativamente per l'acciaio $f_{yk} = 270$ MPa.

Le azioni interne allo stato limite ultimo, N_{Ed} , M_{Ed} and V_{Ed} , sono ottenute dal paragrafo 4.9.

Si determina quindi:

$$M_{Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \cdot \beta_B \quad \text{momento resistente di progetto per sezioni di classe 1 e 2}$$

dove:

W_{pl} è il modulo di resistenza plastico

β_B è un coefficiente riduttivo per palancole a U, dipendente dal numero di palancole interconnesse e dal tipo di suolo

$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} \quad \text{resistenza a taglio di progetto}$$

Se la forza di taglio agente di progetto V_{Ed} è maggiore del 50% della resistenza di progetto V_{Rd} , il momento resistente si riduce secondo la seguente espressione:

$$M_{Rd} = \left(\beta_B \cdot W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w \cdot \sin \alpha} \right) f_{yd} \quad \text{momento resistente ridotto}$$

$$\rho = (2V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2$$

Data l'azione assiale resistente del palancolato $N_{Rd} = A \cdot f_{yd}$, dove A è la sezione resistente, se il rapporto N_{Ed}/N_{Rd} è maggiore di 0.25 per palancole ad U, o maggiore di 0.1 per palancole a Z, il momento resistente si riduce secondo la seguente espressione:

$$M_{N,Rd} = k \cdot M_{Rd} (1 - N_{Ed} / N_{Rd}) \leq M_{Rd} \quad \text{momento resistente ridotto}$$

dove:

$k = 1.33$ per palancole ad U

$k = 1.11$ per palancole a Z

Essendo $N_{Ed} \leq N_{Rd}$, $M_{Ed} \leq M_{N,Rd} \leq M_{Rd}$, $V_{Ed} \leq V_{Rd}$, come mostrato nelle seguenti tabelle, la verifica è soddisfatta.

 IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 44 di 133

4.10.1 Sezione 1

Nella seguente tabella si riportano le verifiche strutturali del palancoato.

Tipo di profilo:	U_Z_Sheet_Pile			
Profilo:	PU 18			
Classe acciaio:	S 270			
$f_{yk} =$	270	N/mm ²	tensione di snervamento caratteristica	
$\gamma_{m,slu} =$	1.05		fattore parziale	
$f_{yd} =$	257	N/mm ²	tensione di snervamento di progetto	
$N_{Ed} =$	23.5	kN/m	axial load	
$M_{Ed} =$	237.4	kN-m/m	bending moment	
$V_{Ed} =$	88.1	kN/m	shear	
tipo:	2			
classe:	U			
$W_{el} =$	1800	cm ³ /m	modulo di resistenza elastico - asse forte	
$A =$	163	cm ² /m	area	
$W_{pl} =$	2134	cm ³ /m	modulo di resistenza plastico - asse forte	
$A_v =$	62.8	cm ² /m	area resistente a taglio	
$b =$	600	mm	larghezza	
$h =$	430	mm	altezza	
$t_w =$	9	mm	spessore anima	
$t_f =$	11.2	mm	spessore ali	
$\alpha =$	57.5°	deg	inclinazione dell'anima	
$\beta_B =$	1.0		coefficiente riduttivo	
$n =$	0.01		axial load strength ratio	

Tabella 8 - Verifica di resistenza (Sezione 1) -PU18

AZIONI DI PROGETTO			RESISTENZE DI PROGETTO				VERIFICA
(F_{Ed})			(R_d)				(>1)
N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	N_{Rd}	M_{Rd}	V_{Rd}	$M_{N,Rd}$	$(R_d/F_{Ed})_{min}$
kN/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m	--
23.5	237.4	88.1	4191	549	933	549	2.31

OK

 IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 45 di 133

4.10.2 Sezione 2

Nella seguente tabella si riportano le verifiche strutturali del palancoato.

Tipo di profilo:	U_Z_Sheet_Pile			
Profilo:	PU 22			
Classe acciaio:	S 270			
$f_{yk} =$	270	N/mm ²	tensione di snervamento caratteristica	
$\gamma_{m,slu} =$	1.05		fattore parziale	
$f_{yd} =$	257	N/mm ²	tensione di snervamento di progetto	
$N_{Ed} =$	64.6	kN/m	axial load	
$M_{Ed} =$	284.8	kN-m/m	bending moment	
$V_{Ed} =$	171.0	kN/m	shear	
tipo:	2			
classe:	U			
$W_{el} =$	2200	cm ³ /m	modulo di resistenza elastico - asse forte	
$A =$	183	cm ² /m	area	
$W_{pl} =$	2580	cm ³ /m	modulo di resistenza plastico - asse forte	
$A_v =$	69.3	cm ² /m	area resistente a taglio	
$b =$	600	mm	larghezza	
$h =$	450	mm	altezza	
$t_w =$	9.5	mm	spessore anima	
$t_f =$	12.1	mm	spessore ali	
$\alpha =$	62.4°	deg	inclinazione dell'anima	
$\beta_B =$	1.0		coefficiente riduttivo	
$n =$	0.01		axial load strength ratio	

Tabella 9 - Verifica di resistenza (Sezione 2) – PU22

AZIONI DI PROGETTO			RESISTENZE DI PROGETTO				VERIFICA
(F_{Ed})			(R_d)				(>1)
N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	N_{Rd}	M_{Rd}	V_{Rd}	$M_{N,Rd}$	$(R_d/F_{Ed})_{min}$
kN/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m	--
65	285	171	4706	663	1029	663	2.33

OK

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 46 di 133

4.10.3 Sezione 3

Nella seguente tabella si riportano le verifiche strutturali del palancoato.

Tipo di profilo:	U_Z_Sheet_Pile			
Profilo:	PU 18			
Classe acciaio:	S 270			
$f_{yk} =$	270	N/mm ²	tensione di snervamento caratteristica	
$\gamma_{m,slu} =$	1.05		fattore parziale	
$f_{yd} =$	257	N/mm ²	tensione di snervamento di progetto	
$N_{Ed} =$	36.1	kN/m	axial load	
$M_{Ed} =$	97.4	kN·m/m	bending moment	
$V_{Ed} =$	73.6	kN/m	shear	
tipo:	2			
classe:	U			
$W_{el} =$	1800	cm ³ /m	modulo di resistenza elastico - asse forte	
$A =$	163	cm ² /m	area	
$W_{pl} =$	2134	cm ³ /m	modulo di resistenza plastico - asse forte	
$A_v =$	62.8	cm ² /m	area resistente a taglio	
$b =$	600	mm	larghezza	
$h =$	430	mm	altezza	
$t_w =$	9	mm	spessore anima	
$t_f =$	11.2	mm	spessore ali	
$\alpha =$	57.5°	deg	inclinazione dell'anima	
$\beta_B =$	1.0		coefficiente riduttivo	
$n =$	0.01		axial load strength ratio	

Tabella 10 - Verifica di resistenza (Sezione 3)-PU18

AZIONI DI PROGETTO			RESISTENZE DI PROGETTO				VERIFICA
(F_{Ed})			(R_d)				(>1)
N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	N_{Rd}	M_{Rd}	V_{Rd}	$M_{N,Rd}$	$(R_d/F_{Ed})_{min}$
kN/m	kNm/m	kN/m	kN/m	kNm/m	kN/m	kNm/m	--
36	97	74	4191	549	933	549	5.63

OK

4.11 Verifiche di resistenza sistema di contrasto sommitale

La verifica delle sezioni in acciaio del sistema di contrasto sommitale (puntoni tubolari e travi di ripartizione dei tiranti) viene eseguita secondo il criterio valido per sezioni compatte di classe 1 o 2 con il metodo plastico – par. 4.2 – Costruzioni in Acciaio – N.T.C.-2008 adottando per il materiale $f_{tk} = 510$ MPa (tensione caratteristica di rottura) e $f_{yk} = 355$ MPa (tensione caratteristica di snervamento) per acciaio S355.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 47 di 133	

Note le massime sollecitazioni di taglio e momento flettente in condizione di SLU la verifica della palancola è effettuata tramite le seguenti espressioni, per sezioni di classe 1 e 2:

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed} \quad \text{per sola azione assiale;}$$

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \geq M_{Ed} \quad \text{per solo momento flettente;}$$

$$V_{c,Rd} = A_V \cdot f_{yd} / \sqrt{3} \geq V_{Ed} \quad \text{per solo taglio;}$$

$$M_{y,V,Rd} = M_{c,Rd} \cdot (1 - \rho) \geq M_{Ed} \quad \text{per momento flettente e taglio;}$$

dove:

N_{Ed} , M_{Ed} , V_{Ed} sono il carico assiale, il momento e il taglio di progetto allo SLU/SLV

$N_{pl,Rd}$ è il carico assiale resistente

$M_{c,Rd}$ è il momento resistente per sola flessione

$V_{c,Rd}$ è il taglio resistente

$M_{y,V,Rd}$ è il momento resistente per $V_{Ed} > 0.5 \cdot V_{c,Rd}$

A è l'area della sezione

W_{pl} è il modulo di resistenza plastico

r è il raggio di curvatura

A_V e ρ sono l'area resistente a taglio e il relativo fattore di riduzione della resistenza a flessione, dati dalle seguenti:

$$A_V = 2 \cdot A / \pi \quad \text{per i profilati circolari cavi;}$$

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right)^2$$

Per le verifiche in caso di presso-flesso-tensione, con o senza taglio, di sezioni circolari sottili, si determina quindi il dominio di resistenza M-N, in caso di plasticizzazione della sezione fino al raggiungimento della deformazione ultima sulla fibra maggiormente tesa ($\epsilon_u = 1\%$). Da tale dominio, si determina il momento ultimo mantenendo costante il rapporto M/N e pari a M_{Ed}/N_{Ed} . Le verifiche per sezioni circolari sottili sono quindi date dalle seguenti.

$$M_{N,y,Rd} = M_{ult} (N_{Ed}; M_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad \text{presso-tenso-flessione, per profilati circolari cavi;}$$

$$M_{y,V,N,Rd} = (1 - \rho) M_{ult} (N_{Ed}; M_{Ed}) \geq M_{Ed} \quad \text{presso-tenso-flessione e taglio, per profilati circolari cavi;}$$

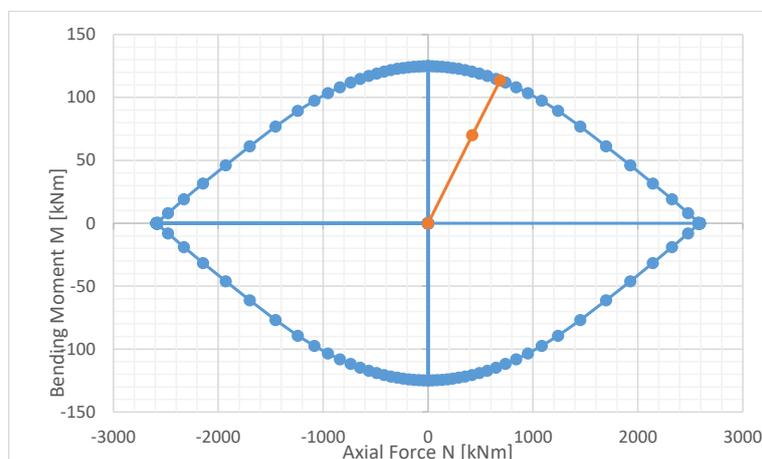


Figura 50 - Esempio di determinazione del momento ultimo dal dominio di resistenza per sezioni circolari sottili

La verifica di stabilità delle membrature compresse e presso-inflesse si effettua soddisfacendo le seguenti disequazioni, in accordo alla vigente normativa:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

stabilità assiale;

$$FS_b = \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot f_{yd} \cdot A} + \frac{M_{yeq,Ed}}{f_{yd} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}}\right)} \leq 1$$

stabilità flessionale per aste presso - inflesse;

dove:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \underline{\lambda}^2}} \leq 1$$

è il fattore di riduzione per la stabilità assiale

$$\Phi = 0.5 \left(1 + \alpha (\underline{\lambda} - 0.2) + \underline{\lambda}^2\right)$$

α

è il fattore di imperfezione

$$\underline{\lambda} = \lambda / \lambda_c$$

è la snellezza adimensionale

$$M_{yeq,Ed} = \max \{1.3 \cdot M_{m,Ed}; 0.75 \cdot M_{Ed}\} \leq M_{Ed}$$

è il momento equivalente di calcolo

$$M_{eq,Ed} = 0.6 M_a - 0.4 M_b \geq 0.4 M_b$$

è il momento equivalente di calcolo per aste vincolate agli

estremi, con momento variabile linearmente tra i valori di estremi M_a e M_b , con $|M_a| \geq |M_b|$

M_{cr}

è il momento critico

$$W_y = W_{y,pl} \text{ per sezioni di classe 1 e 2}$$

è il modulo di resistenza

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 49 di 133

4.11.1 Sezione 2 - Verifica strutturale dei puntoni di contrasto

I puntoni sono verificati allo SLU secondo quanto previsto dalla normativa vigente ed in accordo alla metodologia riportata nel paragrafo precedente. Le azioni di calcolo sono valutate in base alle reazioni derivanti dal calcolo riportate al paragrafo 4.9.1.

La sollecitazione assiale massima che arriva al sistema di contrasto sommitale modellato nel calcolo è 1245 kN (SLU). Il momento flettente e il taglio di calcolo sono valutati per il solo peso proprio del profilato Ø298.5#10 (amplificato per 1.3 allo SLU), per lo schema di trave appoggiata agli estremi:

$$N_{Ed} = 1254.5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 5.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$V_{Ed} = 3.2 \text{ kN}$$

Le caratteristiche geometriche ed i parametri di verifica, con riferimento ai simboli descritti al precedente paragrafo, sono i seguenti. La lunghezza massima del puntone è 7 m.

tipo:	Ø				
classe:	1				
$W_{el,maj}$	633	cm ³	modulo di resistenza elastico - asse forte		
$W_{el,min}$	633	cm ⁴	modulo di resistenza elastico - asse debole		
A	91	cm ²	area		
$W_{pl,maj}$	833	cm ³	modulo di resistenza plastico - asse forte		
$W_{pl,min}$	833	cm ⁴	modulo di resistenza plastico - asse debole		
A_v	57.7	cm ²	area resistente a taglio		
b	298.5	mm	larghezza		
h	298.5	mm	altezza		
t_w	10	mm	spessore anima		
t_f	10	mm	spessore ali		
r	-	mm	raggio curvatura raccordo		
p	0.000		parametro di riduzione resistenza a taglio		
n	0.35		rapporto azione/resistenza assiale		
a	0.34		parametro di riduzione resistenza assiale		

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 50 di 133

Stabilità Assiale						
$i_{maj} =$	10	cm	=	0.1020614	m	raggio d'inerzia
$l_0 =$	7.00	m				lunghezza libera di inflessione
$\lambda =$	69					snellezza
$\lambda_{max} =$	250					per membrature secondarie OK FS= 3.65
$\underline{\lambda} = \lambda/\lambda_c =$	0.898					snellezza adimensionale
$\alpha =$	0.21					fattore d'imperfezione
$\Phi =$	0.976					
$\chi =$	0.736					fattore di riduzione per stabilità assiale
Stabilità Flessionale						
	asse forte					asse debole
$M_{av,Ed} =$	3.78	kN·m		$M_{av,Ed} =$	0.00	kN·m
$M_A =$	0.00	kN·m		$M_A =$	0.00	kN·m
$M_B =$	0.00	kN·m		$M_B =$	0.00	kN·m
$M_{eq,Ed} =$	4.91	kN·m		$M_{eq,Ed} =$	0.00	kN·m
$N_{cr} =$	3993	kN		$N_{cr} =$	3993	kN
$\psi =$	1.00					carico critico Eulerian

Le verifiche di resistenza e stabilità per carico di punta assiale e flessionale sono riportate nella seguente tabella. La resistenza flessionale ridotta per effetto dell'azione assiale è valutata per mezzo del dominio di resistenza riportato nella successiva immagine. Poiché le resistenze (R_d) sono sempre maggiori delle relative azioni di progetto (Ed) e risultando $FS_b < 1$, le verifiche sono soddisfatte.

Tabella 11 - Verifica puntoni

Verifica in Campo Plastico			
$N_{pl,Rd} =$	3064	kN	OK FS= 2.44
$M_{c,Rd} =$	282	kN·m	OK FS= 49.69
$V_{c,Rd} =$	1126	kN	OK FS= 347.92
$M_{y,V,Rd} =$	282	kN·m	OK FS= 49.69
$M_{N,y,Rd} =$	13	kN·m	OK FS= 2.37
$M_{y,V,N,Rd} =$	13	kN·m	OK FS= 2.37
Verifica di Stabilità Assiale			
$N_{b,Rd} =$	2254	kN	OK FS= 1.80
Verifica di Stabilità Flessionale			
$FS_b =$	0.582	≤ 1	OK FS= 1.72

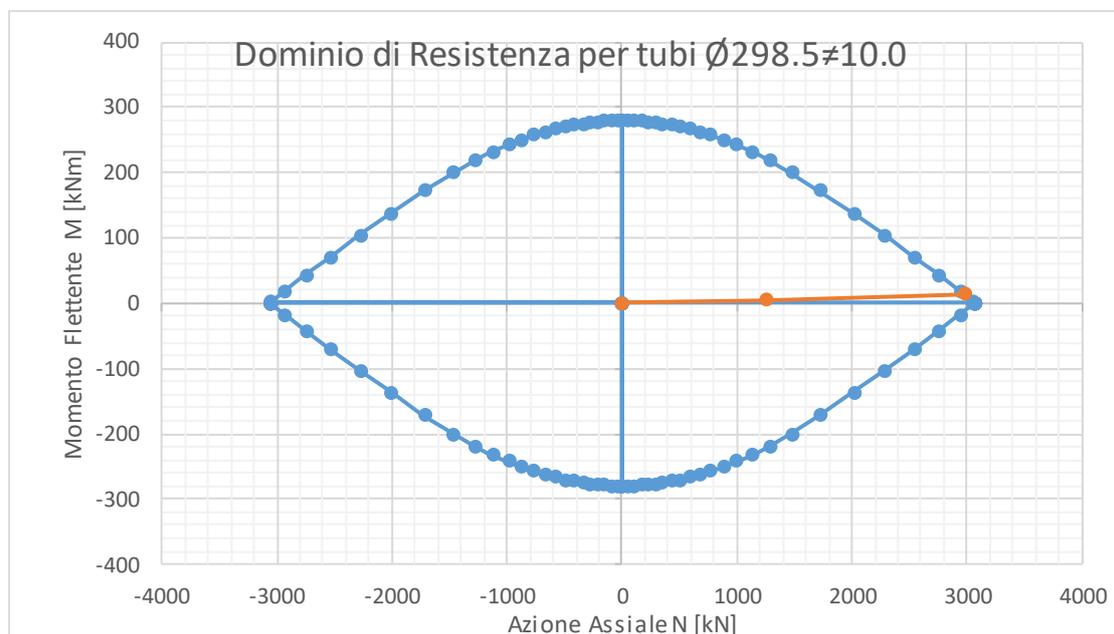


Figura 51: Dominio di resistenza allo SLU per i puntoni

4.11.2 Sezione 2 - Verifica travi di ripartizione

Si prevedono travi di ripartizione in acciaio (S355) costituite da due HE 280 B.

Il momento flettente M_{max} ed il taglio massimo T_{max} sono calcolati modellando la trave di coronamento come una trave continua su appoggi disposti ad un interasse pari all'interasse fra i puntoni e sollecitata da un carico uniformemente ripartito pari alla reazione dei puntoni F_h (kN/m). Al fine di massimizzare le sollecitazioni flessionali si considera:

$$M_{max} = F_h \frac{L^2}{8}$$

$$T_{max} = F_h \frac{L}{2}$$

$L = 6$ m (luce massima tra i puntoni).

Nel caso in esame le sollecitazioni valgono (SLU STR):

$$F_h = 1254.5 / 6 \text{ kN/m}$$

$$M_{max} = 941 \text{ kNm}$$

$$T_{max} = 627 \text{ kN}$$

Nella seguente tabella sono mostrate le caratteristiche delle travi di ripartizioni adottate.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 52 di 133

Tabella 12 – Caratteristiche travi di ripartizione adottate

Tipo di profilo:	HE			
Profilo:	HE 280 B			
Classe acciaio:	S 355			
$f_{yk} =$	355	N/mm ²	tensione di snervamento caratteristica	
$\gamma_{m,slu} =$	1.05		fattore parziale	
$f_{yd} =$	338	N/mm ²	tensione di snervamento di progetto	
n. di profili =	2			
tipo:	H			
classe:	1			
$W_{el} =$	1376	cm ³	modulo di resistenza elastico - asse forte	
$A =$	131	cm ²	area	
$W_{pl} =$	1534	cm ³	modulo di resistenza plastico - asse forte	
$A_v =$	41.1	cm ²	area resistente a taglio	
$b =$	280	mm	larghezza	
$h =$	280	mm	altezza	
$t_w =$	10.5	mm	spessore anima	
$t_f =$	18	mm	spessore ali	
$r =$	24	mm	raggio curvatura raccordo	
$\rho =$	0.000		parametro di riduzione resistenza a taglio	
$n =$	0.00		rapporto azione/resistenza assiale	
$a =$	0.23		parametro di riduzione resistenza assiale	

Nella seguente tabella sono mostrati i risultati della verifica. Poiché le resistenze (R_d) sono sempre maggiori delle relative azioni di progetto (F_{Ed}) e risultando $(R_d/F_{Ed}) > 1$, le verifiche sono soddisfatte.

Tabella 13 - Verifica travi di ripartizione

DATI				AZIONI DI PROGETTO			RESISTENZE DI PROGETTO						VERIFICA
				(F_{Ed})			(R_d)						(>1)
Section	Order	N_Q	i	N_{Ed}	M_{Ed}	V_{Ed}	$N_{pl,Rd}$	$M_{c,Rd}$	$V_{c,Rd}$	$M_{y,V,Rd}$	$M_{N,y,Rd}$	$M_{y,V,N,Rd}$	$(R_d/F_{Ed})_{min}$
-	-	kN	m	kN	kNm	kN	kN	kNm	kN	kNm	kNm	kNm	--
P16	0	1255	6.00	0	941	627	8885	1037	1606	1037	1037	1037	1.10

4.11.3 Sezione 3 - Verifica strutturale dei puntoni di contrasto

I puntoni sono verificati allo SLU secondo quanto previsto dalla normativa vigente ed in accordo alla metodologia riportata nel paragrafo precedente. Le azioni di calcolo sono valutate in base alle reazioni derivanti dal calcolo riportate al paragrafo 4.9.1.

La sollecitazione assiale massima che arriva al sistema di contrasto sommitale modellato nel calcolo è 531.6 kN (SLU). Il momento flettente e il taglio di calcolo sono valutati per il solo peso proprio del profilato $\varnothing 298.5 \neq 10$ (amplificato per 1.3 allo SLU), per lo schema di trave appoggiata agli estremi:

$$N_{Ed} = 531.6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 5.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 53 di 133

$$V_{Ed} = 3.2 \text{ kN}$$

Le caratteristiche geometriche ed i parametri di verifica, con riferimento ai simboli descritti al precedente paragrafo, sono i seguenti. La lunghezza massima del puntone è 7 m.

tipo:	∅		
classe:	1		
$W_{el,maj}$	633	cm ³	modulo di resistenza elastico - asse forte
$W_{el,min}$	633	cm ⁴	modulo di resistenza elastico - asse debole
A	91	cm ²	area
$W_{pl,maj}$	833	cm ³	modulo di resistenza plastico - asse forte
$W_{pl,min}$	833	cm ⁴	modulo di resistenza plastico - asse debole
A_v	57.7	cm ²	area resistente a taglio
b	298.5	mm	larghezza
h	298.5	mm	altezza
t_w	10	mm	spessore anima
t_f	10	mm	spessore ali
r	-	mm	raggio curvatura raccordo
ρ	0.000		parametro di riduzione resistenza a taglio
n	0.35		rapporto azione/resistenza assiale
a	0.34		parametro di riduzione resistenza assiale

Stabilità Assiale							
i_{maj}	10	cm	=	0.1020614	m	raggio d'inerzia	
l_0	7.00	m				lunghezza libera di inflessione	
λ	69					snellezza	
λ_{max}	250					per membrature secondarie OK FS= 3.65	
$\bar{\lambda} = \lambda/\lambda_c$	0.898					snellezza adimensionale	
α	0.21					for curve type: a fattore d'imperfezione	
Φ	0.976						
χ	0.736					fattore di riduzione per stabilità assiale	
Stabilità Flessionale							
asse forte						asse debole	
$M_{av,Ed}$	3.78	kN·m		$M_{av,Ed}$	0.00	kN·m	
M_A	0.00	kN·m		M_A	0.00	kN·m	
M_B	0.00	kN·m		M_B	0.00	kN·m	
$M_{eq,Ed}$	4.91	kN·m		$M_{eq,Ed}$	0.00	kN·m	
N_{cr}	3993	kN		N_{cr}	3993	kN	carico critico Eulerian
ψ	1.00						

Le verifiche di resistenza e stabilità per carico di punta assiale e flessionale sono riportate nella seguente tabella. La resistenza flessionale ridotta per effetto dell'azione assiale è valutata per mezzo del dominio di resistenza riportato nella successiva immagine. Poiché le resistenze (R_d) sono sempre maggiori delle relative azioni di progetto (E_d) e risultando $FS_b < 1$, le verifiche sono soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 54 di 133

Tabella 14 - Verifica puntoni

Verifica in Campo Plastico				
$N_{pl,Rd} =$	3064	kN		OK FS= 5.76
$M_{c,Rd} =$	282	kN·m		OK FS= 49.69
$V_{c,Rd} =$	1126	kN		OK FS= 347.92
$M_{y,V,Rd} =$	282	kN·m		OK FS= 49.69
$M_{N,y,Rd} =$	30	kN·m		OK FS= 5.35
$M_{y,V,N,Rd} =$	30	kN·m		OK FS= 5.35
Verifica di Stabilità Assiale				
$N_{b,Rd} =$	2254	kN		OK FS= 4.24
Verifica di Stabilità Flessionale				
$FS_b =$	0.256	<=1		OK FS= 3.91

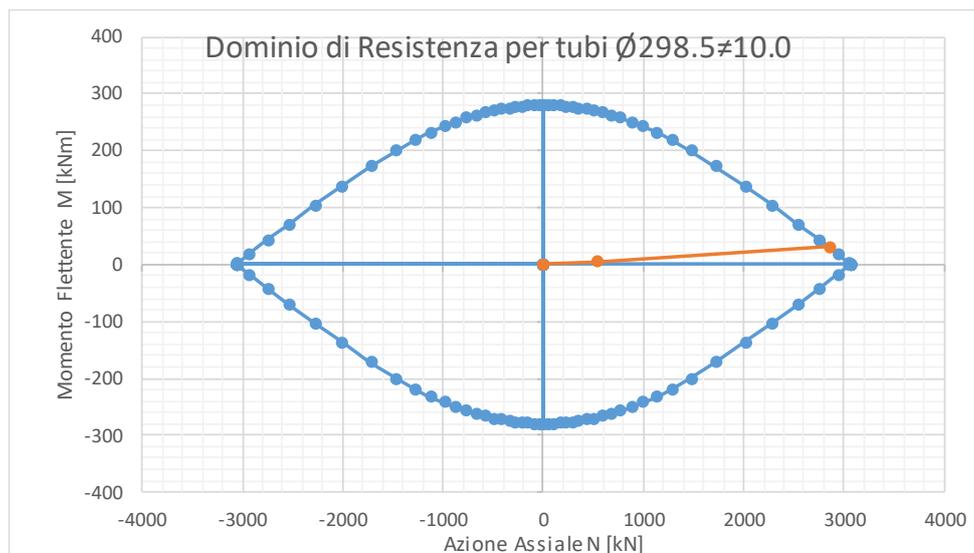


Figura 52: Dominio di resistenza allo SLU per i puntoni

4.11.4 Sezione 3 - Verifica travi di ripartizione

Si prevedono travi di ripartizione in acciaio (S355) costituite da due HE 240 A.

Il momento flettente M_{max} ed il taglio massimo T_{max} sono calcolati modellando la trave di coronamento come una trave continua su appoggi disposti ad un interasse pari all'interasse fra i puntoni e sollecitata da un carico uniformemente ripartito pari alla reazione dei puntoni F_h (kN/m). Al fine di massimizzare le sollecitazioni flessionali si considera:

$$M_{max} = F_h \frac{L^2}{8}$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17 Lotto 12 Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001 Rev. C Foglio 55 di 133

$$T_{\max} = F_h \frac{L}{2}$$

L = 6 m (luce massima tra i puntoni).

Nel caso in esame le sollecitazioni valgono (SLU STR):

$$F_h = 531.6 / 6 \text{ kN/m}$$

$$M_{\max} = 399 \text{ kNm}$$

$$T_{\max} = 266 \text{ kN}$$

Nella seguente tabella sono mostrate le caratteristiche delle travi di ripartizioni adottate.

Tabella 15 – Caratteristiche travi di ripartizione adottate

Tipo di profilo:	HE			
Profilo:	HE 240 A			
Classe acciaio:	S 355			
$f_{yk} =$	355	N/mm ²	tensione di snervamento caratteristica	
$\gamma_{m,slu} =$	1.05		fattore parziale	
$f_{yd} =$	338	N/mm ²	tensione di snervamento di progetto	
n. di profili =	2			
tipo:	H			
classe:	2			
$W_{el} =$	675	cm ³	modulo di resistenza elastico - asse forte	
A =	77	cm ²	area	
$W_{pl} =$	745	cm ³	modulo di resistenza plastico - asse forte	
$A_v =$	25.1	cm ²	area resistente a taglio	
b =	240	mm	larghezza	
h =	230	mm	altezza	
$t_w =$	7.5	mm	spessore anima	
$t_f =$	12	mm	spessore ali	
r =	21	mm	raggio curvatura raccordo	
$\rho =$	0.000		parametro di riduzione resistenza a taglio	
n =	0.00		rapporto azione/resistenza assiale	
a =	0.25		parametro di riduzione resistenza assiale	

Nella seguente tabella sono mostrati i risultati della verifica. Poiché le resistenze (Rd) sono sempre maggiori delle relative azioni di progetto (F_{Ed}) e risultando (Rd/F_{Ed}) > 1, le verifiche sono soddisfatte.

Tabella 16 - Verifica travi di ripartizione

DATI				AZIONI DI PROGETTO			RESISTENZE DI PROGETTO						VERIFICA
Section	Order	N _Q	i	(F _{Ed})			(R _d)						(>1)
		kN	m	N _{Ed}	M _{Ed}	V _{Ed}	N _{pl,Rd}	M _{c,Rd}	V _{c,Rd}	M _{y,V,Rd}	M _{N,y,Rd}	M _{y,V,N,Rd}	(R _d /F _{Ed}) _{min}
-	-			kN	kNm	kN	kN	kNm	kN	kNm	kNm	kNm	--
P3	0	532	6.00	0	399	266	5193	503	981	503	503	503	1.26

OK

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 56 di 133

4.12 Verifiche nei confronti degli stati limite idraulici

Sifonamento

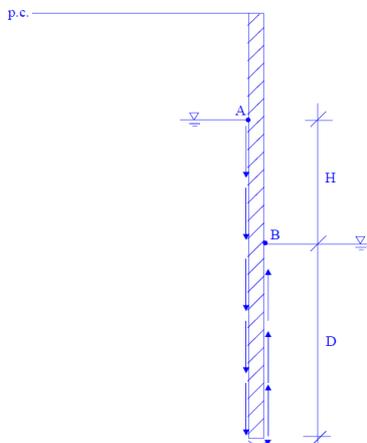
In un terreno privo di legami coesivi, in presenza di filtrazione ascendente quando il gradiente idraulico è prossimo al valore critico $i = i_c \approx 1$, si annullano le forze intergranulari, si annulla la resistenza del terreno e le particelle solide possono essere trasportate dall'acqua in movimento, dando origine ad un fenomeno progressivo di erosione che conduce al collasso della struttura del terreno. Tale fenomeno è noto come instabilità idrodinamica (o sifonamento). Il fattore di sicurezza globale nei confronti del sifonamento è il rapporto tra il gradiente idraulico critico, $i_c \approx 1.0$, e quello presente in esercizio (gradiente di efflusso), i_E :

$$FS = i_c / i_E \approx 1 / i_E$$

In via cautelativa, con riferimento al percorso di filtrazione più corto (situazione più critica), nell'ipotesi di perdita di carico lineare con la profondità e trascurando lo spessore della paratia, il gradiente di efflusso, i_E è dato da:

$$i_E = H / (H + 2 \cdot D)$$

dove H è la differenza di carico idraulico monte-valle e D è la profondità di infissione della paratia misurata sotto il fondo scavo.



	H scavo	H	D	i_E	FS
Sezione 1	3.7 m	3.7 m	7.4 m	0.20	4.9
Sezione 2	6.4 m	6.4 m	7.6 m	0.296	3.4
Sezione 3	4.5 m	4.5 m	6.5 m	0.26	3.9

Si tratta quindi di gradienti di efflusso piuttosto bassi, tali da evitare il pericolo di sifonamento.

Nel seguito si esprime la verifica di sifonamento in termini di pressioni come richiesto da NTC 2008, le pressioni totali a fondo scavo dovranno essere maggiori delle pressioni idrostatiche instabilizzanti:

$$U_{inst,d} \leq \sigma_{stb,d}$$

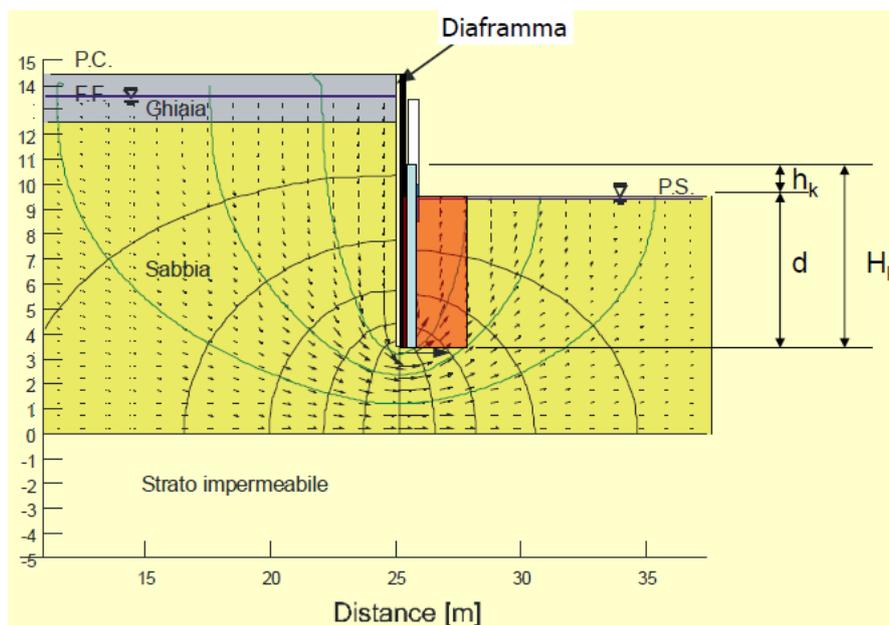


Figura 53 – Schema reticolo di filtrazione per verifica sifonamento

Quindi in termini di tensioni totali si verifica:

$$\gamma_{G,inst} (\gamma_w \cdot H_k) \leq \gamma_{G,std} (\gamma_{sat,k} \cdot d)$$

$$1.3 \cdot (\gamma_w \cdot H_k) \leq 0.9 \cdot (\gamma_{sat,k} \cdot d)$$

Dove:

$\gamma_{G,inst} = 1.3$; $\gamma_{G,std} = 0.9$ coefficienti parziali di normativa NTC 2008

$\gamma_w = 10 \text{ kN/m}^3$ peso dell'acqua; $\gamma_{sat,k} = 19 \text{ kN/m}^3$ peso di volume del terreno

H_k ; d = profondità indicate come da schema di Figura 53; h_k assunto da calcoli Plaxis (*) oppure assunto in via cautelativa pari a $h_k = H/2$.

Nel caso in esame si ha:

$$1.3 \cdot (\gamma_w \cdot H_k)$$

$$0.9 \cdot (\gamma_{sat,k} \cdot d)$$

	d [m]	Hk [m] = d+hk	hk [m]	H [m]	1.3 · (γ _w · H _k)	0.9 · (γ _{sat,k} · d)
Sezione 1	7.4	9.25	1.85	3.7	120.3	126.54
Sezione 2	7.6	9.9 (*)	2.1	6.4	128.7	130.0
Sezione 3	6.5	8.4 (*)	1.8	4.5	109.2	111.2

Dalla tabella precedente, si verifica che: $1.3 \cdot (\gamma_w \cdot H_k) \leq 0.9 \cdot (\gamma_{sat,k} \cdot d)$. La verifica è soddisfatta.

(*) Per la sezione 2, per la quale la verifica ha fattore di sicurezza più basso, si riporta il valore di H_k desunto dal modello di calcolo Plaxis (vedasi figure seguenti); da cui al piede della paratia si ha rispettivamente una pressione di 98.98 kPa, che corrisponde a $H_k = 9.9 \text{ m}$.

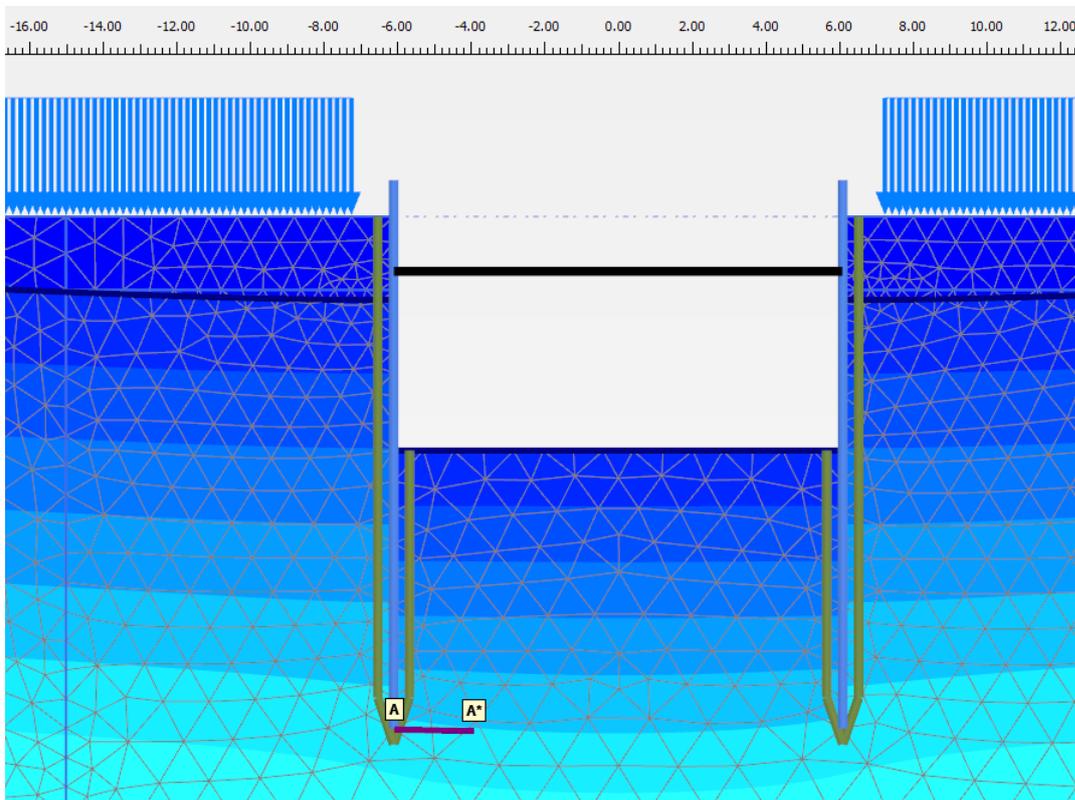
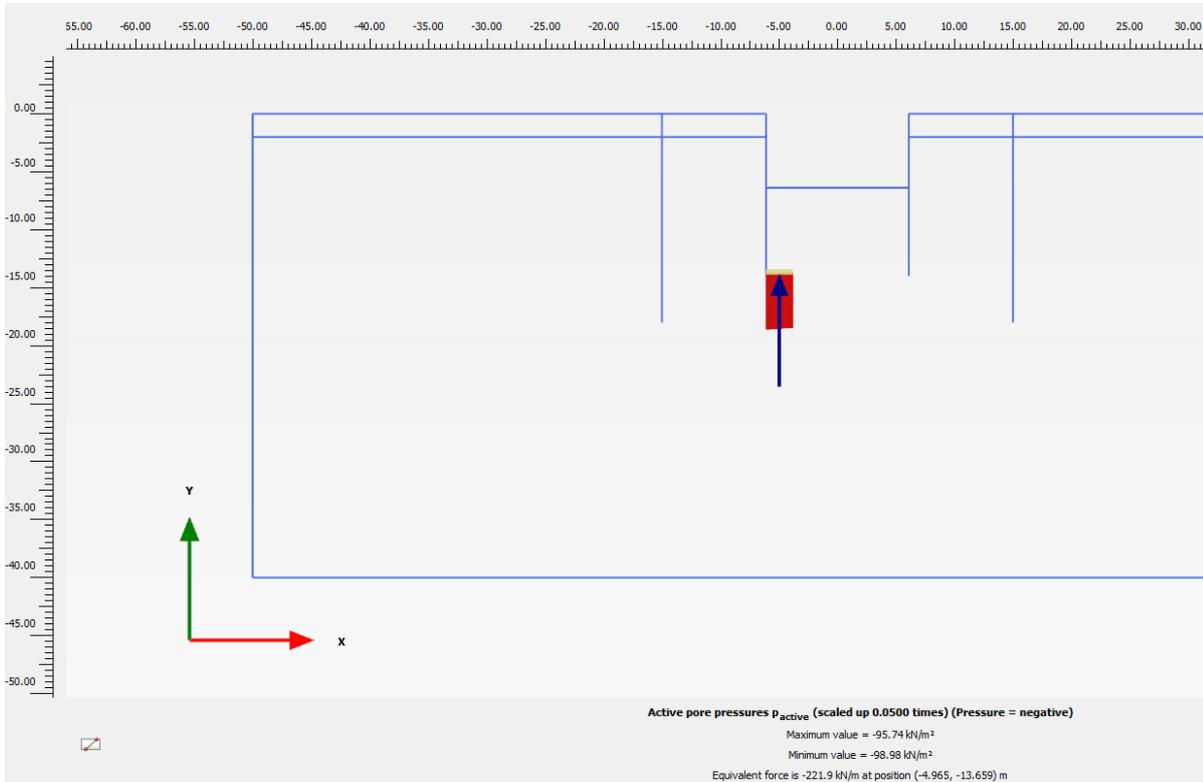


Figura 54 – sezione 2

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001</p>	<p>Rev. C</p>	<p>Foglio 59 di 133</p>

(*) Per la sezione 3, si riporta il valore di H_k desunto dal modello di calcolo Plaxis (vedasi figure seguenti); da cui al piede della paratia si ha rispettivamente una pressione di 84.34 kPa, che corrisponde a $H_k = 8.4$ m.

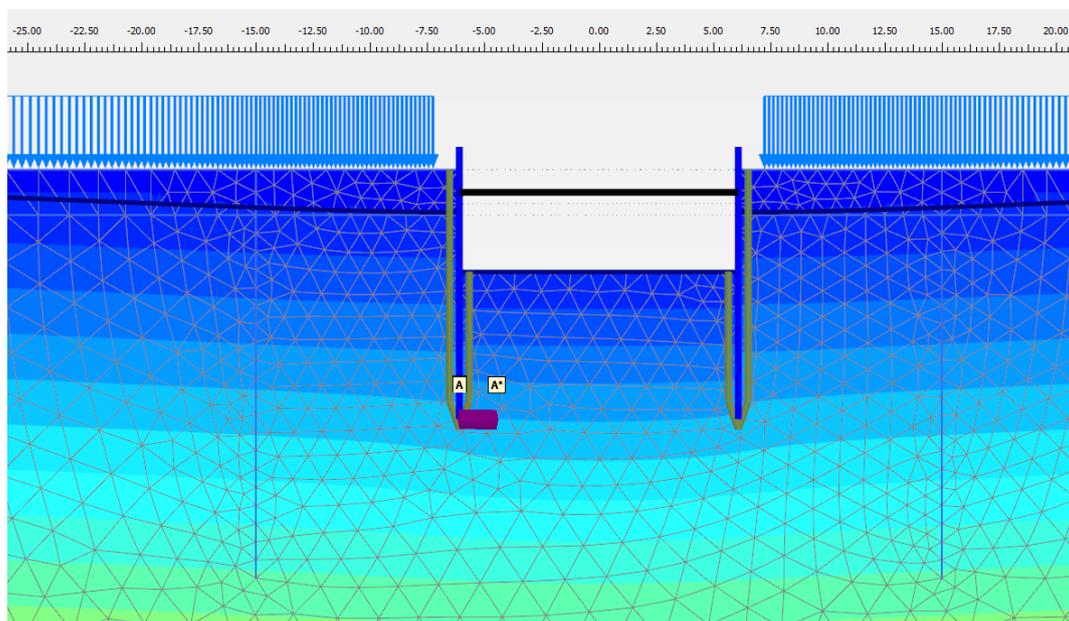
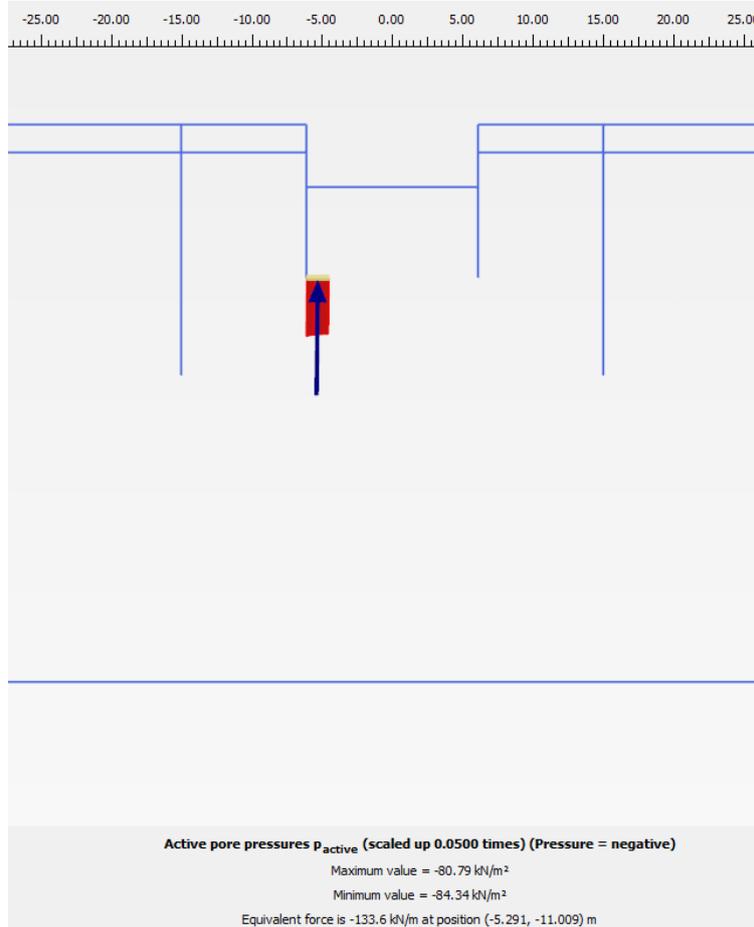


Figura 55 – sezione 3

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
VI01A - RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica Documento EI2 CL VI 01 A 1 001	Rev. C	Foglio 60 di 133

5 ALLEGATO A. Tabulato di calcolo Plaxis

5.1 Tabulati di calcolo sezione 1

1.1.1.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification	Argilla	Sabbia
Identification number	4	5
Drainage type	Drained	Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³ 18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³ 18.50	19.00
Dilatancy cut-off	No	No
e_{init}	0.5000	0.5000
e_{min}	0.000	0.000
e_{max}	999.0	999.0
Rayleigh α	0.000	0.000
Rayleigh β	0.000	0.000
E	kN/m ² 10.00E3	50.00E3
ν (nu)	0.3000	0.3000
G	kN/m ² 3846	19.23E3
E_{Oed}	kN/m ² 13.46E3	67.31E3
c_{ref}	kN/m ² 1.000E-3	0.000
ϕ (phi)	° 27.00	38.00

Identification		Argilla	Sabbia
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
v_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0.6700	0.6700
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000	0.000

Identification		Argilla	Sabbia
R	m ² K/kW	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes
K _{0,x}		0.5460	0.3843
K _{0,z}		0.5460	0.3843
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k _x	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
k _y	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.5000	0.5000
S _s	1/m	0.000	0.000
c _k		1000E12	1000E12
c _s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ _s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ _s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric

Identification	Argilla	Sabbia
α_s	1/K	0.000 0.000
D_v	m^2/s	0.000 0.000
f_{TV}		0.000 0.000
Unfrozen water content	None	None

1.1.1.1.1.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

Identification	Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
Identification number	7	9
Drainage type	Drained	Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m^3 18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m^3 18.50	19.00
Dilatancy cut-off	No	No
e_{init}	0.5000	0.5000
e_{min}	0.000	0.000
e_{max}	999.0	999.0
Rayleigh α	0.000	0.000
Rayleigh β	0.000	0.000
E	kN/m^2 10.00E3	50.00E3
ν (nu)	0.3000	0.3000
G	kN/m^2 3846	19.23E3
E_{oed}	kN/m^2 13.46E3	67.31E3
c_{ref}	kN/m^2 0.5000	0.5000
ϕ (phi)	° 18.00	20.00

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
ν_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Rigid	Manual
R_{inter}		1.000	0.6700
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000	0.000

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
R	m ² K/kW	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes
K _{0,x}		0.6910	0.6580
K _{0,z}		0.6910	0.6580
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k _x	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
k _y	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.5000	0.5000
S _s	1/m	0.000	0.000
c _k		1000E12	1000E12
c _s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ _s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ _s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric

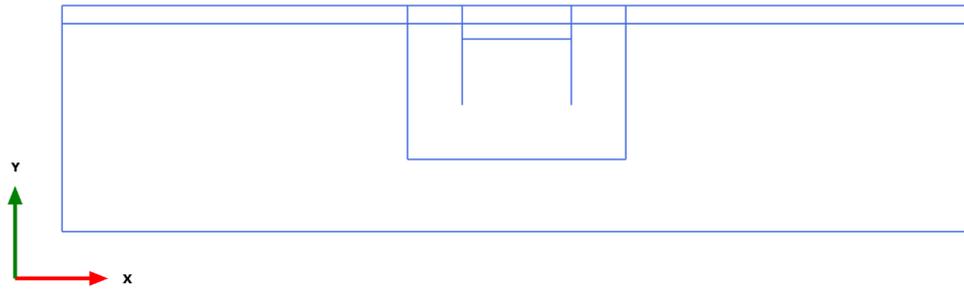
Identification	Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
α_s	1/K 0.000	0.000
D_v	m^2/s 0.000	0.000
f_{TV}	0.000	0.000
Unfrozen water content	None	None

1.1.1.2 Materials - Plates -

Identification	PU_18
Identification number	1
Comments	
Colour	
Material type	Elastic
Isotropic	Yes
EA_1	kN/m 3.429E6
EA_2	kN/m 3.429E6
EI	$kN\ m^2/m$ 81.16E3
d	m 0.5329
w	$kN/m/m$ 1.280
v (nu)	0.000
Rayleigh α	0.000
Rayleigh β	0.000
Prevent punching	No
Identification number	1
c	$kJ/t/K$ 0.000
λ	$kW/m/K$ 0.000
Identification	PU_18
ρ	t/m^3 0.000
α	1/K 0.000

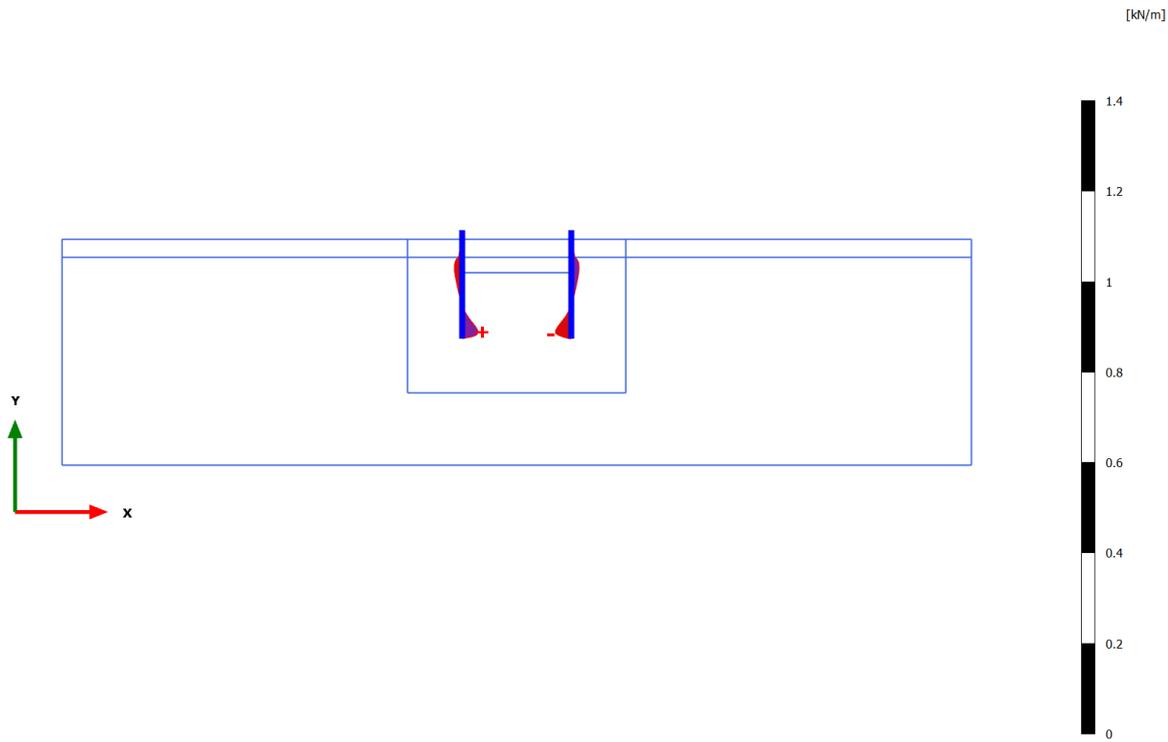
1.1.1.3 3.1.1.1.1

Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 1.00 times)
No results

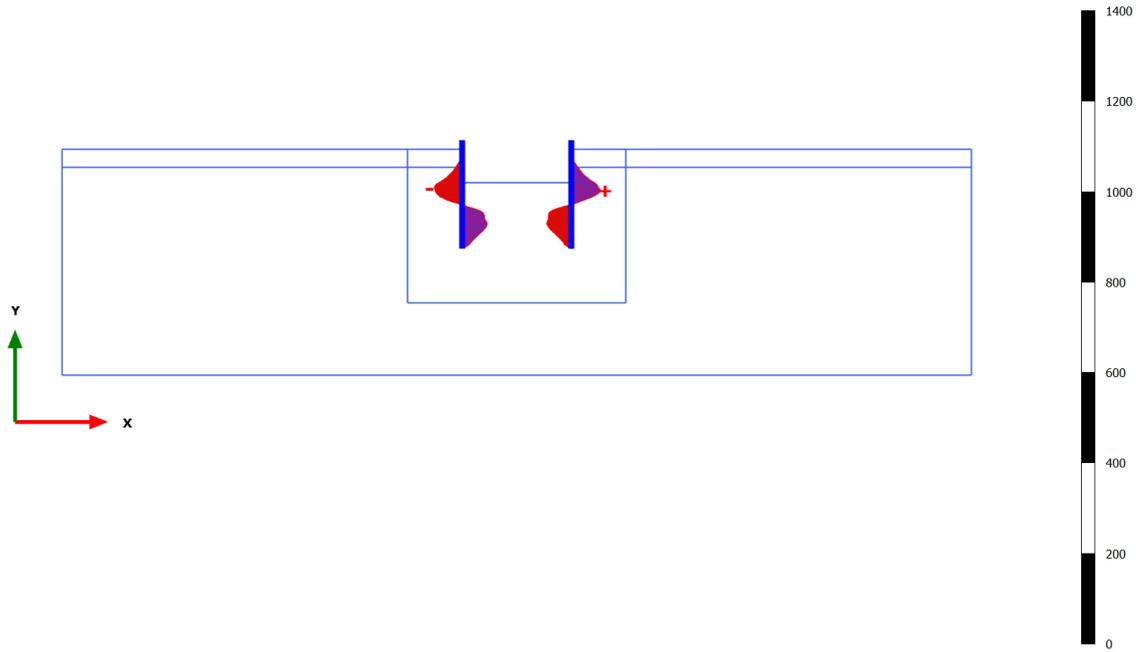
3.1.1.1.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 50.0 times)
Maximum value = 0.03491 kN/m (Element 18 at Node 5391)
Minimum value = -0.03485 kN/m (Element 28 at Node 8663)

3.1.1.1.3 Calculation results, Plate, Sovraccarico [Phase_5] (5/109), Shear forces Q

[kN/m]



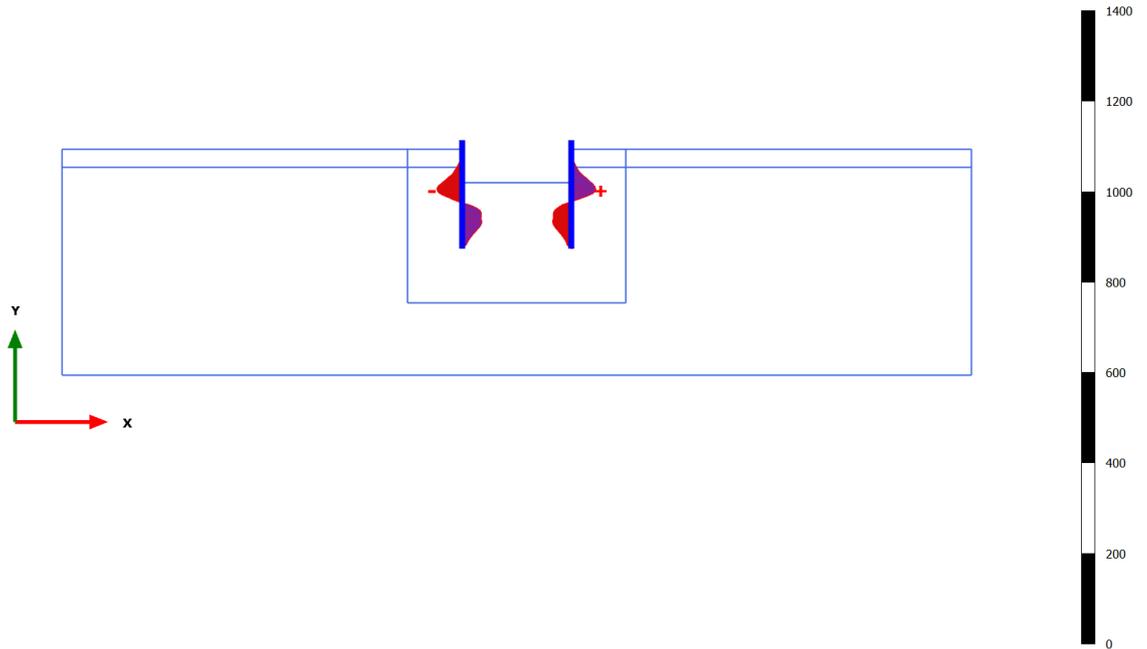
Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 64.36 kN/m (Element 20 at Node 6372)

Minimum value = -61.26 kN/m (Element 11 at Node 512)

3.1.1.1.4 Calculation results, Plate, Scavo max [Phase_3] (3/566), Shear forces Q

[kN/m]

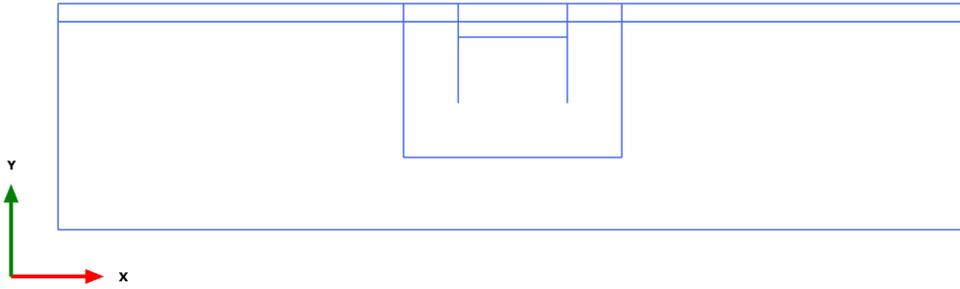


Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 54.20 kN/m (Element 20 at Node 6372)

Minimum value = -55.64 kN/m (Element 11 at Node 875)

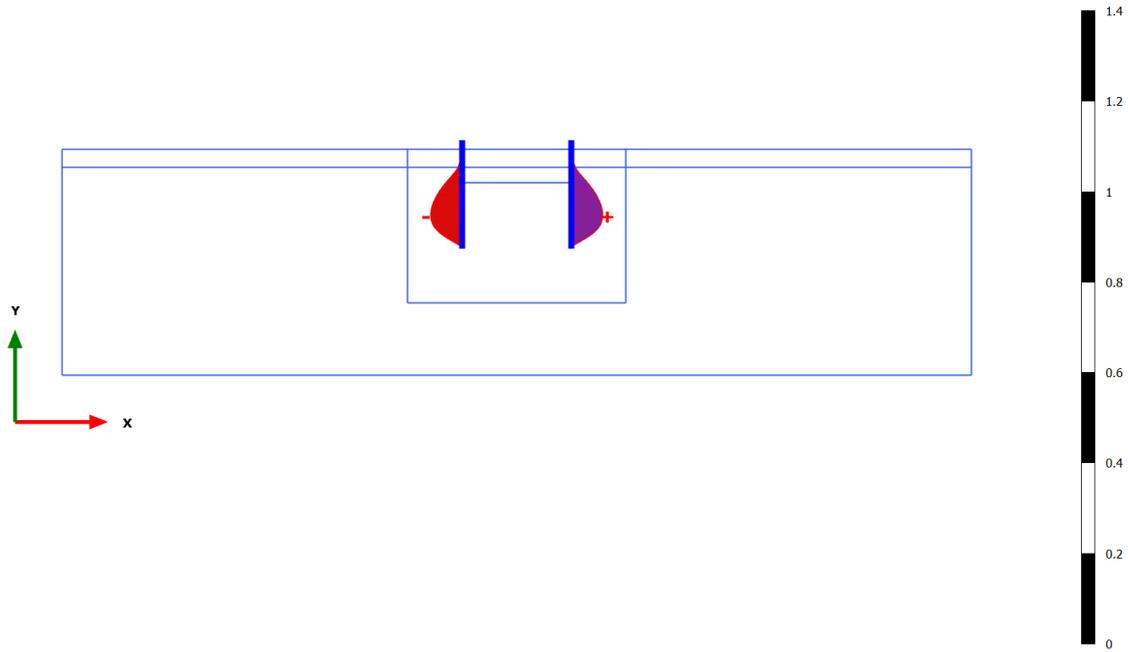
3.1.1.2.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 1.00 times)
No results

3.1.1.2.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Bending moments M

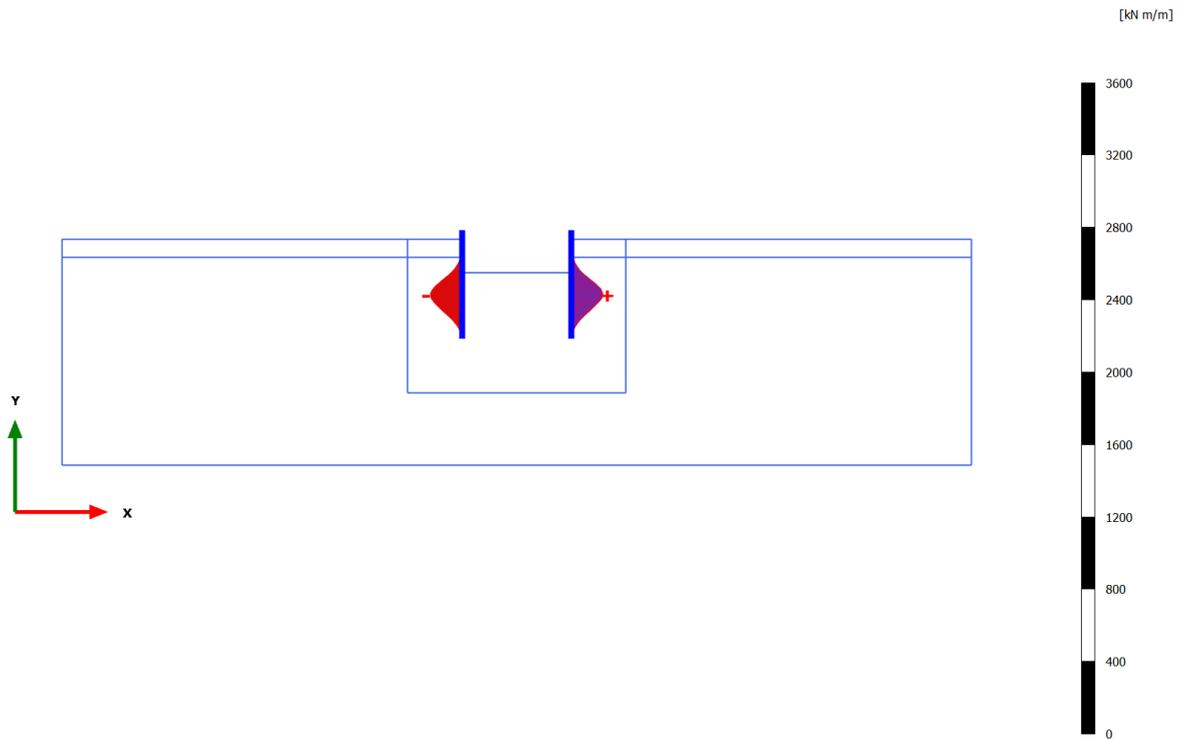
[kN m/m]



Bending moments M (scaled up 50.0 times)

Maximum value = 0.06952 kN m/m (Element 24 at Node 7418)

Minimum value = -0.06956 kN m/m (Element 15 at Node 1853)



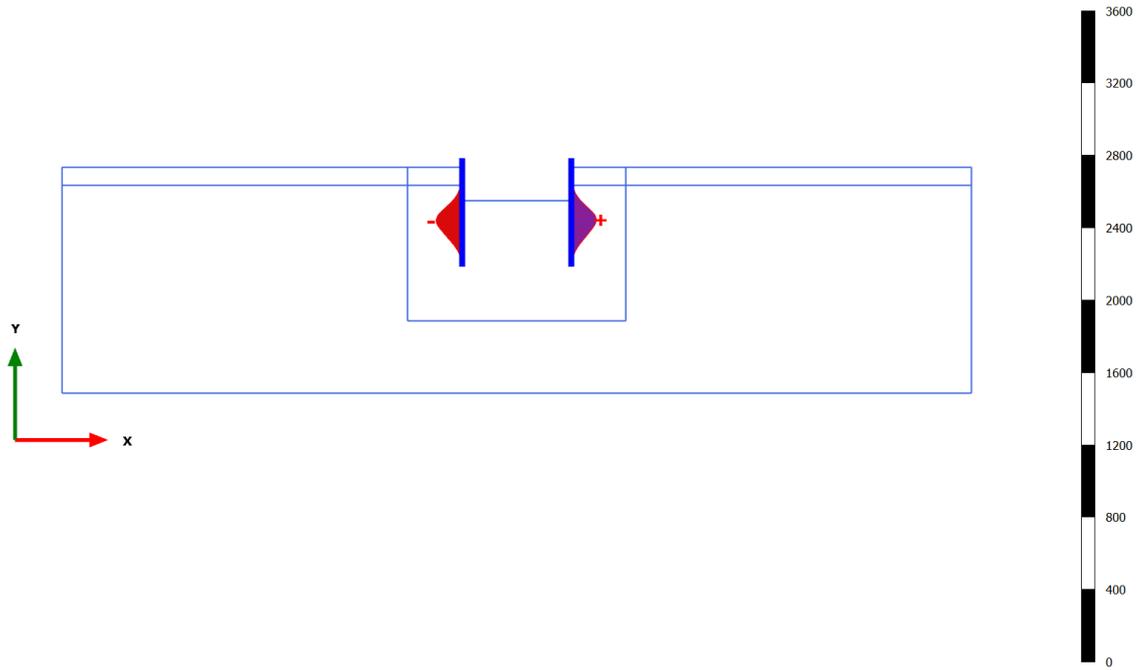
Bending moments M (scaled up 0.0200 times)

Maximum value = 173.7 kN m/m (Element 23 at Node 6920)

Minimum value = -174.8 kN m/m (Element 14 at Node 1597)

3.1.1.2.4 Calculation results, Plate, Scavo max [Phase_3] (3/566), Bending moments M

[kN m/m]

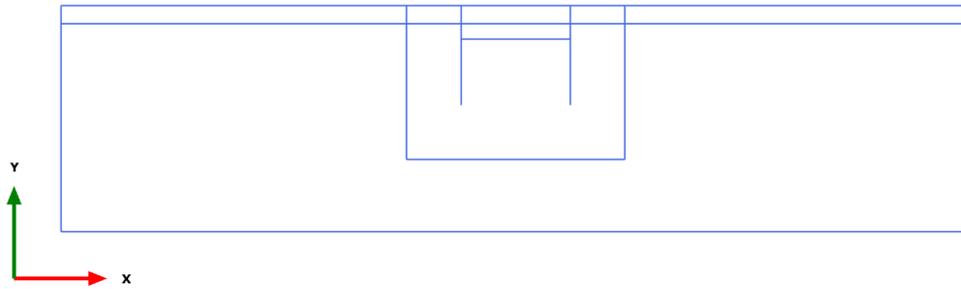


Bending moments M (scaled up 0.0200 times)

Maximum value = 137.8 kN m/m (Element 22 at Node 6674)

Minimum value = -143.4 kN m/m (Element 13 at Node 1050)

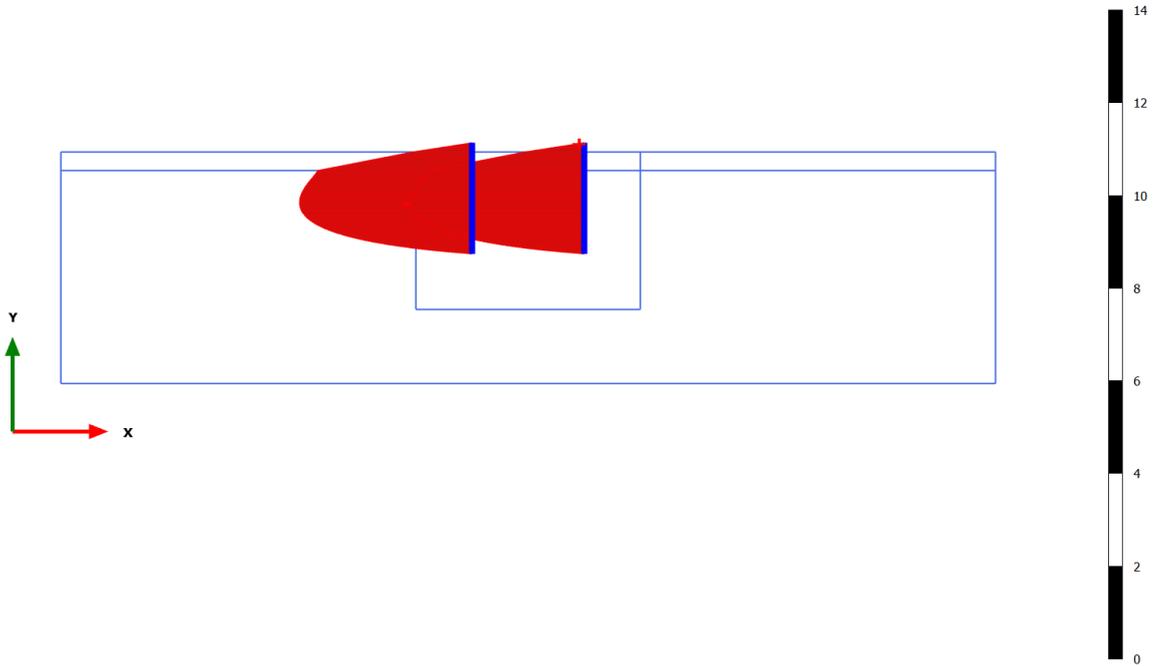
3.1.1.3.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 1.00 times)
No results

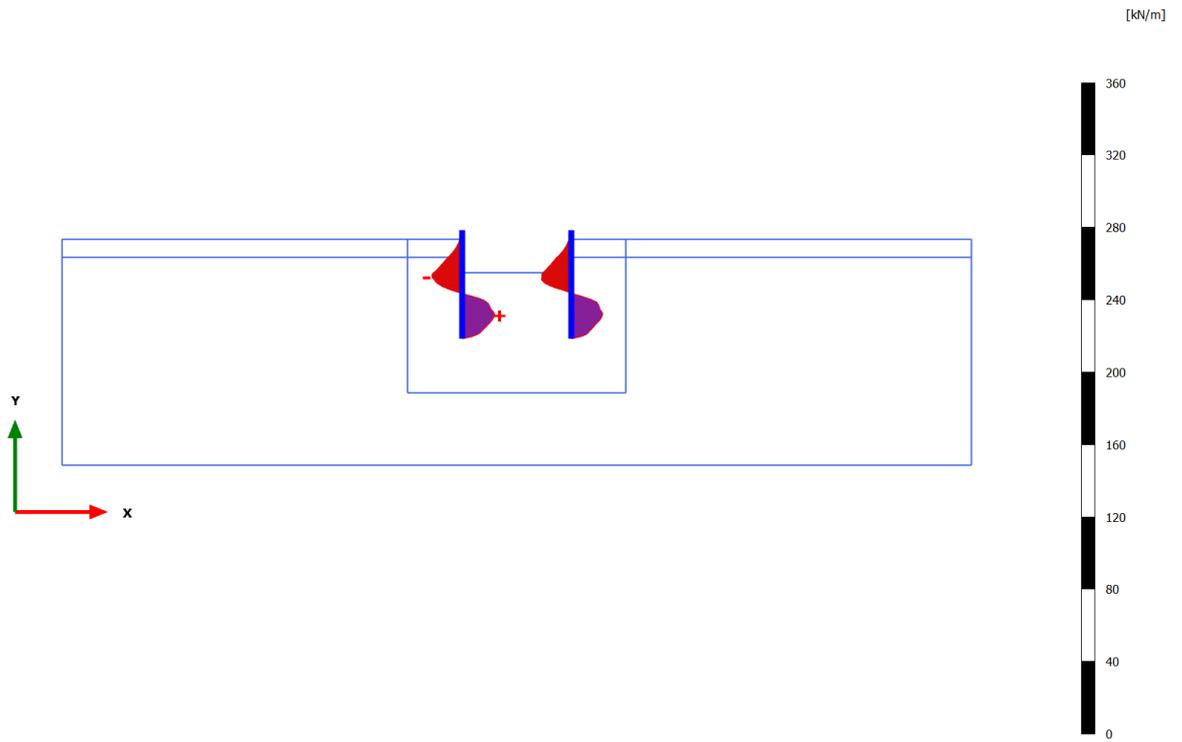
3.1.1.3.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Axial forces N

[kN/m]



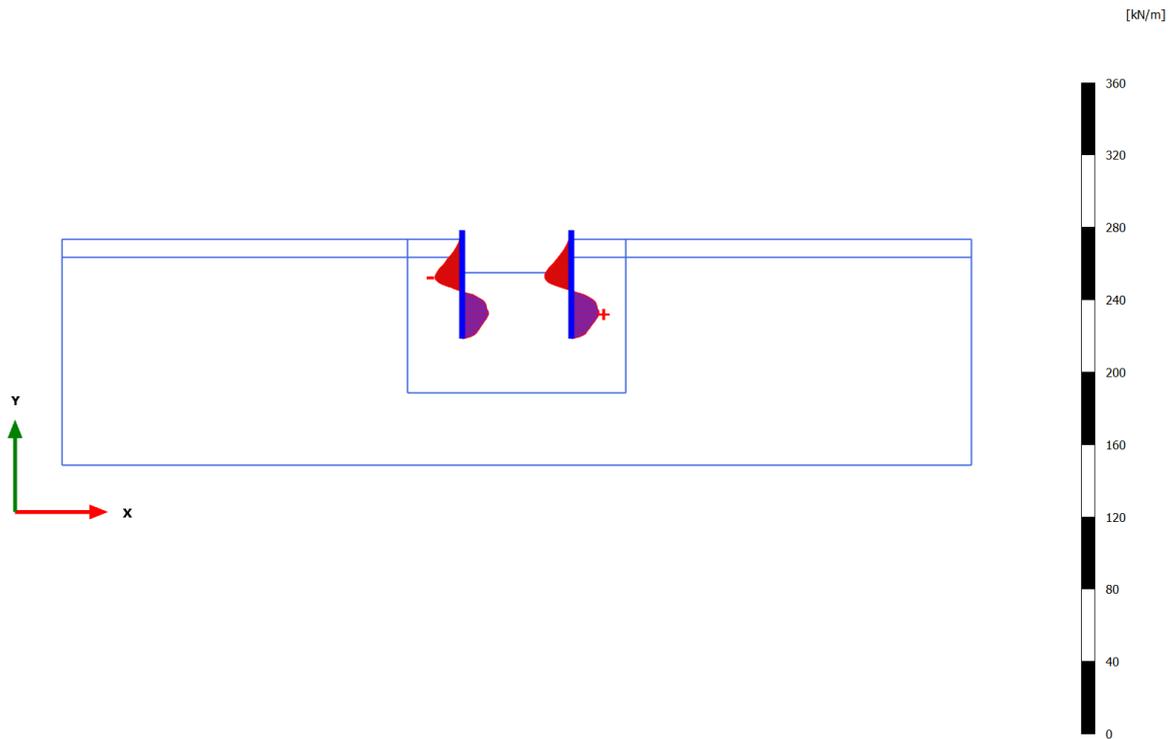
Axial forces N (scaled up 5.00 times)
Maximum value = $-0.07777 \cdot 10^{-3}$ kN/m (Element 2 at Node 4595)
Minimum value = -3.694 kN/m (Element 22 at Node 6673)

3.1.1.3.3 Calculation results, Plate, Sovraccarico [Phase_5] (5/109), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0.200 times)
Maximum value = 17.91 kN/m (Element 16 at Node 2410)
Minimum value = -16.81 kN/m (Element 11 at Node 511)

3.1.1.3.4 Calculation results, Plate, Scavo max [Phase_3] (3/566), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 15.27 kN/m (Element 25 at Node 7432)

Minimum value = -14.97 kN/m (Element 11 at Node 511)

5.2 Tabulati di calcolo sezione 2

1.1.1.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification	Argilla	Sabbia
Identification number	4	5
Drainage type	Drained	Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³ 18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³ 18.50	19.00
Dilatancy cut-off	No	No
e_{init}	0.5000	0.5000
e_{min}	0.000	0.000
e_{max}	999.0	999.0
Rayleigh α	0.000	0.000
Rayleigh β	0.000	0.000
E	kN/m ² 10.00E3	50.00E3
ν (nu)	0.3000	0.3000
G	kN/m ² 3846	19.23E3
E_{oed}	kN/m ² 13.46E3	67.31E3
c_{ref}	kN/m ² 0.000	0.000
ϕ (phi)	° 27.00	38.00
ψ (psi)	° 0.000	0.000

Identification		Argilla	Sabbia
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
Y_{ref}	m	0.000	0.000
C_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
Y_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
v_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0.6700	0.6700
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000
K_0 determination		Automatic	Automatic

Identification		Argilla	Sabbia
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5460	0.3843
$K_{0,z}$		0.5460	0.3843
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k_x	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
k_y	m/s	0.6000E-6	0.1000E-3
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10.00E3	10.00E3
e_{init}		0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0.000	0.000
D_v	m ² /s	0.000	0.000
f_{T_v}		0.000	0.000

Identification	Argilla	Sabbia
----------------	---------	--------

Unfrozen water content None None

1.1.1.1.1.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

Identification	Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
----------------	---------------------	--------------------

Identification number	7	9
-----------------------	---	---

Drainage type	Drained	Drained
---------------	---------	---------

Colour		
--------	---	---

Comments

γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	19.00
------------------	-------------------	-------	-------

γ_{sat}	kN/m ³	18.50	19.00
----------------	-------------------	-------	-------

Dilatancy cut-off	No	No
-------------------	----	----

e_{init}	0.5000	0.5000
------------	--------	--------

e_{min}	0.000	0.000
-----------	-------	-------

e_{max}	999.0	999.0
-----------	-------	-------

Rayleigh α	0.000	0.000
-------------------	-------	-------

Rayleigh β	0.000	0.000
------------------	-------	-------

E	kN/m ²	10.00E3	50.00E3
---	-------------------	---------	---------

ν (nu)	0.3000	0.3000
------------	--------	--------

G	kN/m ²	3846	19.23E3
---	-------------------	------	---------

E_{Oed}	kN/m ²	13.46E3	67.31E3
-----------	-------------------	---------	---------

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
c_{ref}	kN/m ²	0.5000	0.5000
ϕ (phi)	°	18.00	20.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
ν_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Rigid	Manual
R_{inter}		1.000	0.6700

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes
K _{0,x}		0.6910	0.6580
K _{0,z}		0.6910	0.6580
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k _x	m/s	0.1000E-6	0.1000E-3
k _y	m/s	0.1000E-6	0.1000E-3
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.5000	0.5000

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
S_s	1/m	0.000	0.000
C_k		1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0.000	0.000
D_v	m ² /s	0.000	0.000
f_{Tv}		0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None

1.1.1.2 Materials - Plates -

Identification	PU_22
Identification number	2
Comments	
Colour	
Material type	Elastic
Isotropic	Yes
EA_1	kN/m 3.843E6
EA_2	kN/m 3.843E6
EI	kN m ² /m 103.9E3
d	m 0.5696
w	kN/m/m 1.400
ν (nu)	0.000
Rayleigh α	0.000
Rayleigh β	0.000
Prevent punching	No
Identification number	2
c	kJ/t/K 0.000
λ	kW/m/K 0.000

Identification PU_22

ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

1.1.1.3 Materials - Anchors -

Identification steel Ø298.5#10.0 i=5.5m

Identification number 1

Comments

Colour 

Material type Elastic

EA kN 1.900E6

L_{spacing} m 6.000

Identification number 1

c kJ/t/K 0.000

λ kW/m/K 0.000

ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

Identification number 1

c kJ/t/K 0.000

λ kW/m/K 0.000

ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

A m² 0.000

Identification steel Ø298.5#10.0 i=5.5m

Identification number 1

c kJ/t/K 0.000

λ kW/m/K 0.000

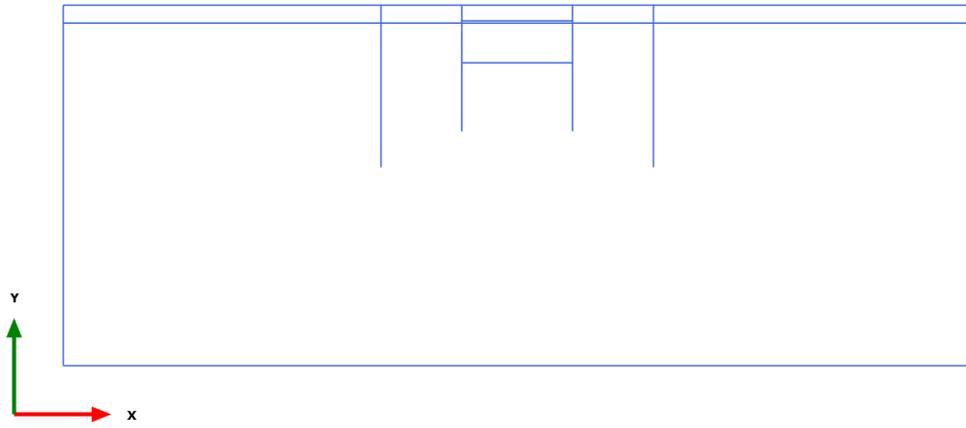
ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

A m² 0.000

3.1.1.1.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0)

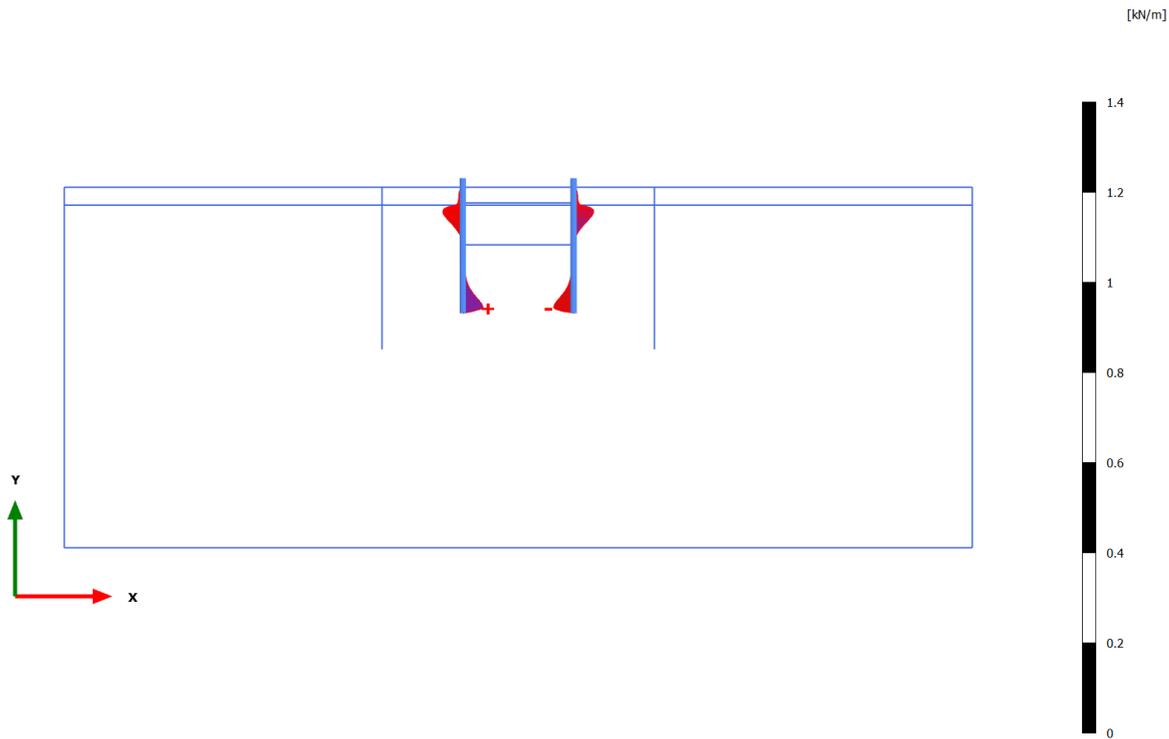
, Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 1.00 times)

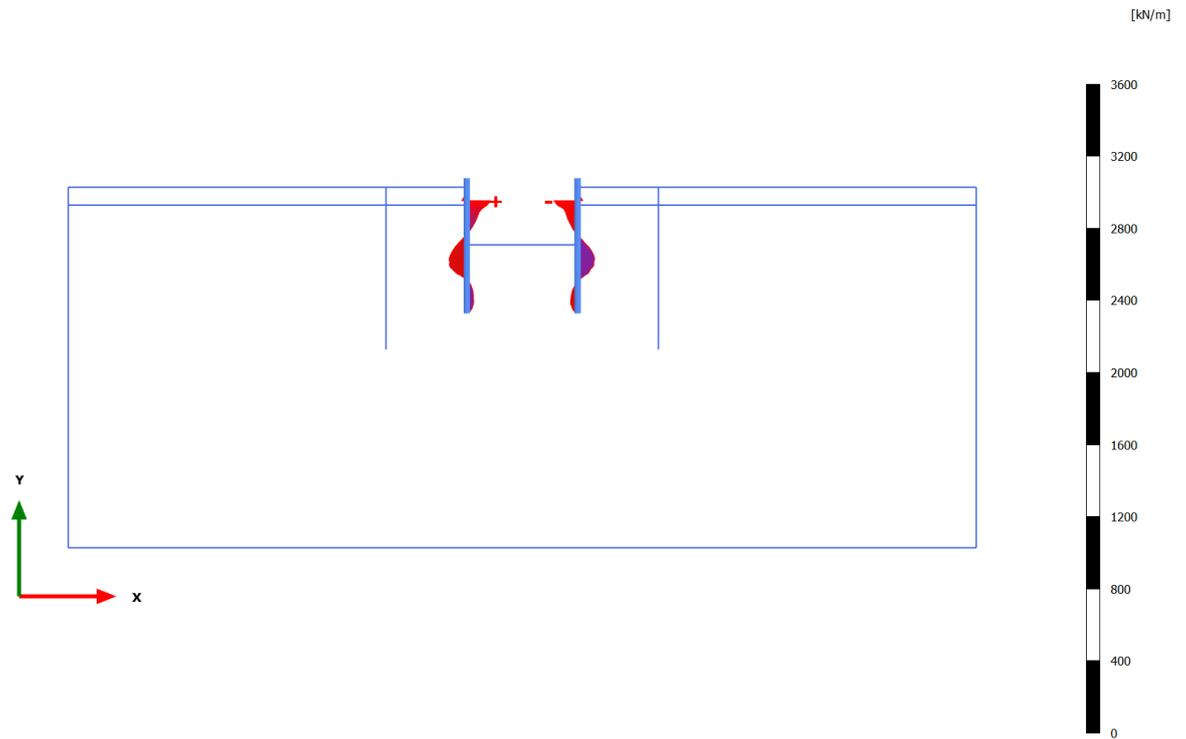
No results

3.1.1.1.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Shear forces Q



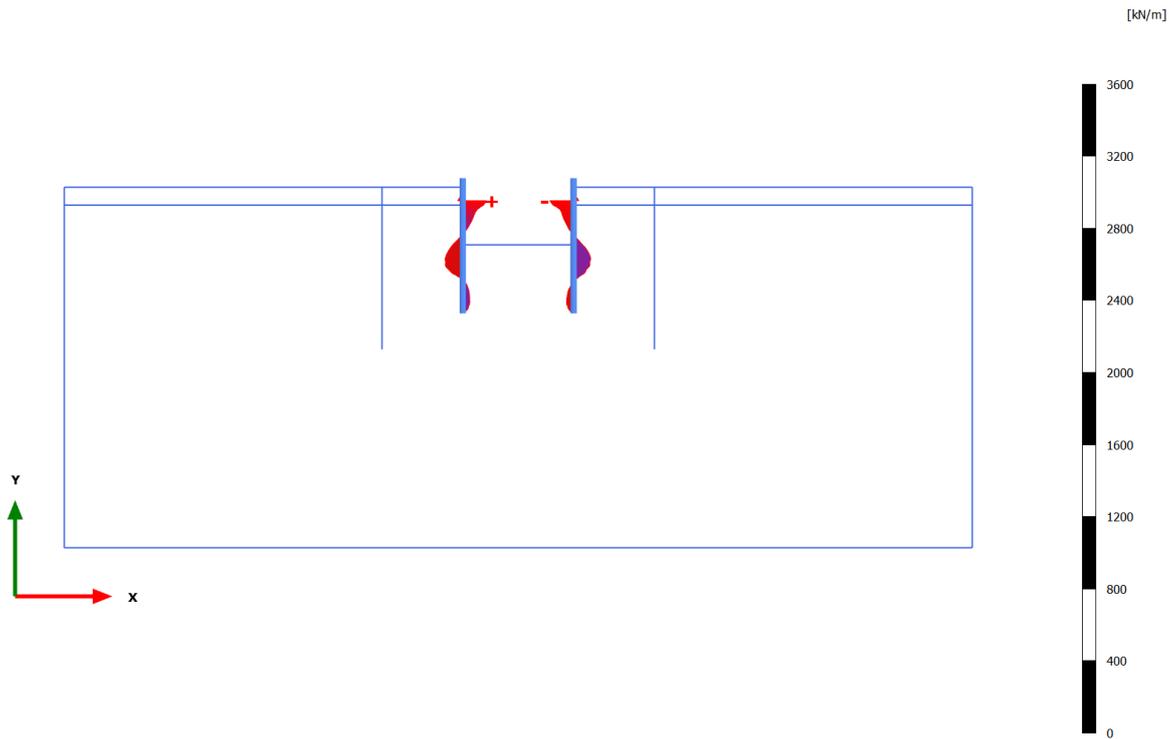
Shear forces Q (scaled up 50.0 times)
 Maximum value = 0.04489 kN/m (Element 37 at Node 13352)
 Minimum value = -0.04438 kN/m (Element 46 at Node 16705)

3.1.1.1.3 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Shear forces Q

**Shear forces Q (scaled up 0.0200 times)**

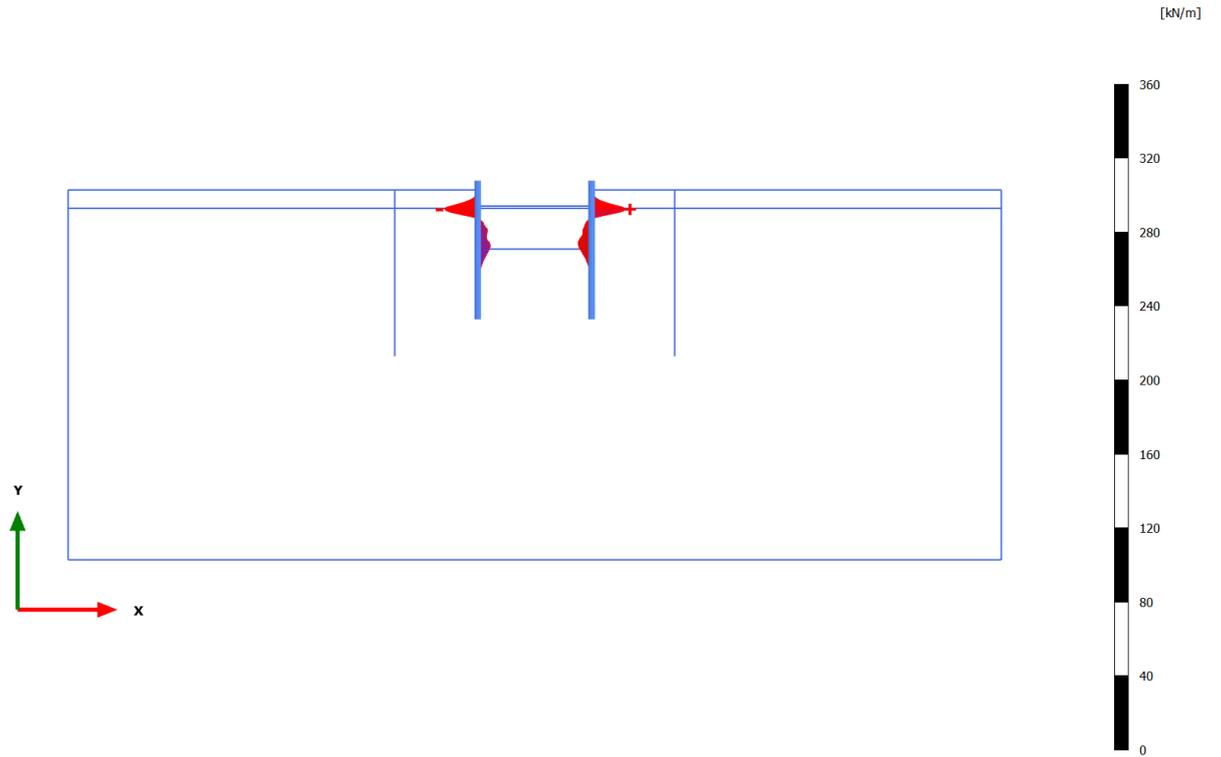
Maximum value = 131.0 kN/m (Element 9 at Node 417)

Minimum value = -130.7 kN/m (Element 10 at Node 10219)



Shear forces Q (scaled up 0.0200 times)
 Maximum value = 132.1 kN/m (Element 9 at Node 417)
 Minimum value = -131.7 kN/m (Element 10 at Node 10219)

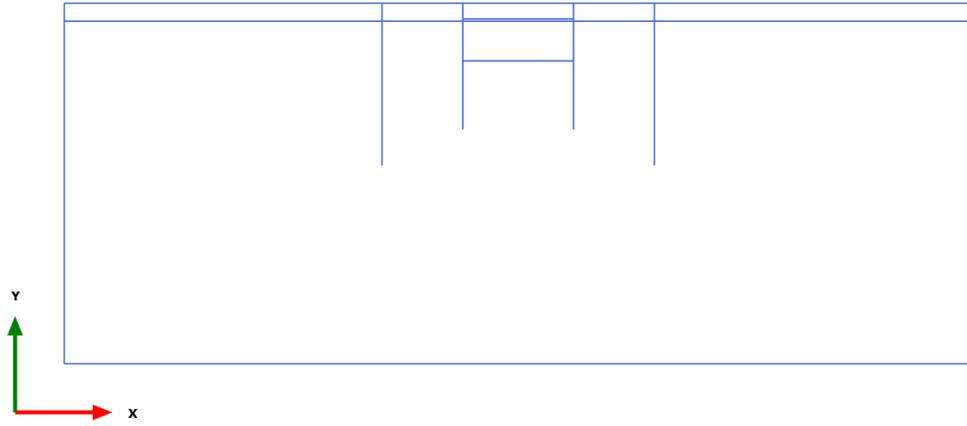
3.1.1.1.5 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 0.200 times)

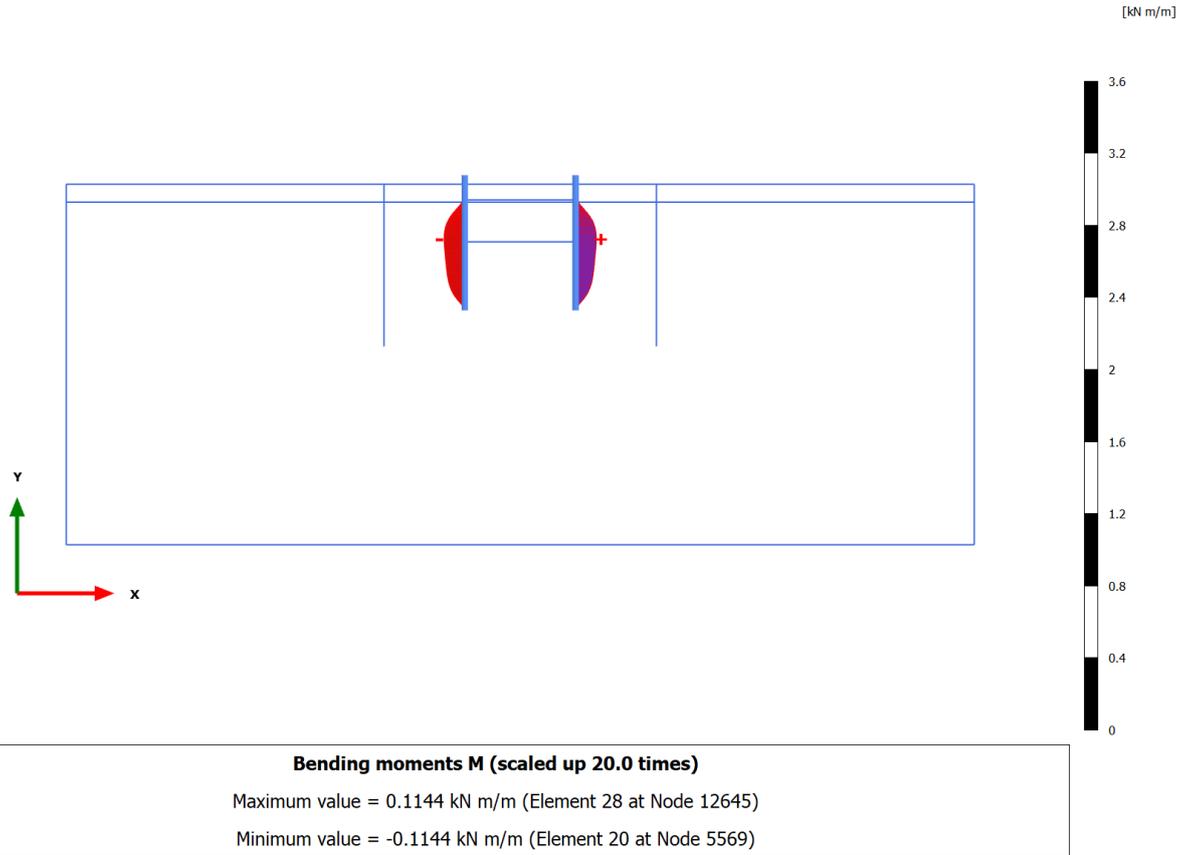
Maximum value = 17.72 kN/m (Element 12 at Node 11039)

Minimum value = -17.67 kN/m (Element 13 at Node 1331)

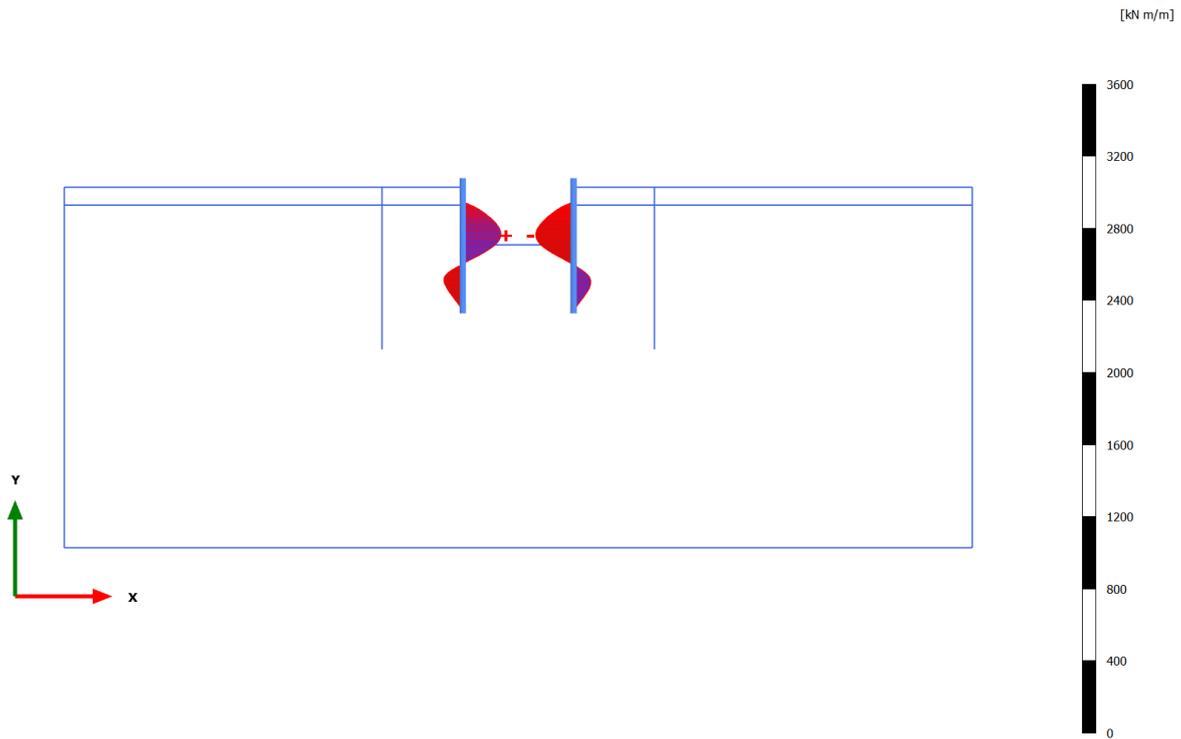


Bending moments M (scaled up 1.00 times)
No results

3.1.1.2.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Bending moments M

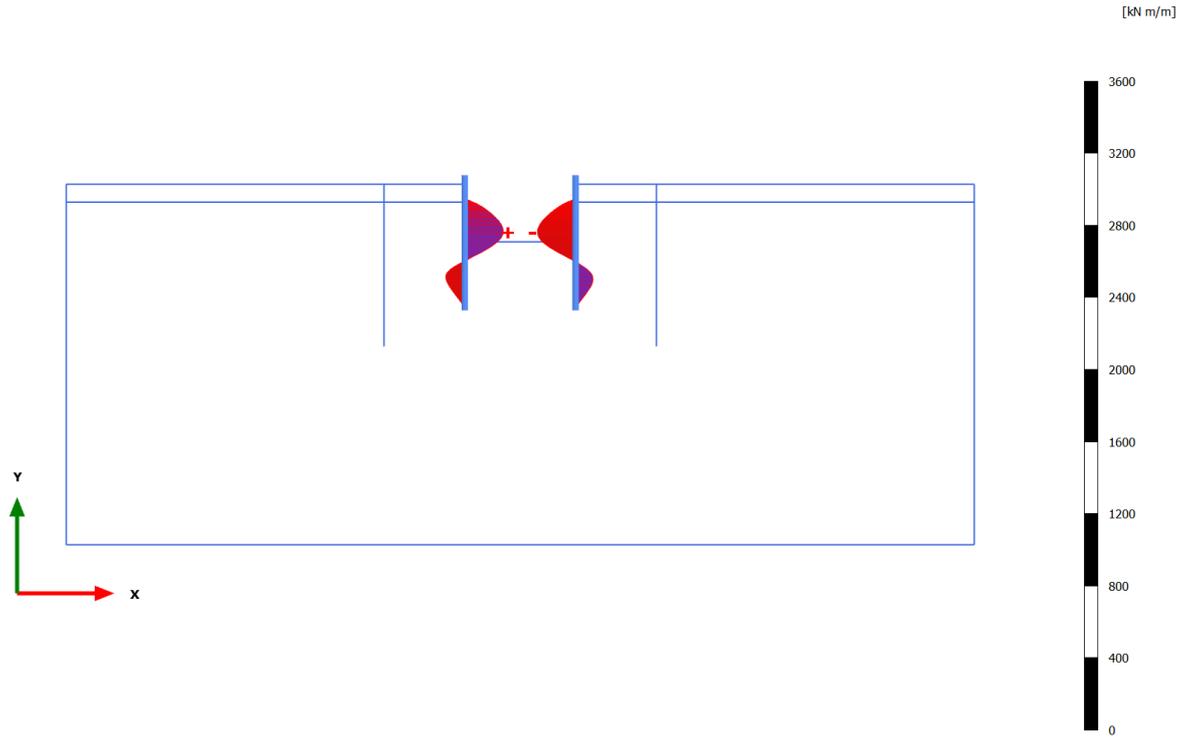


3.1.1.2.3 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Bending moments M



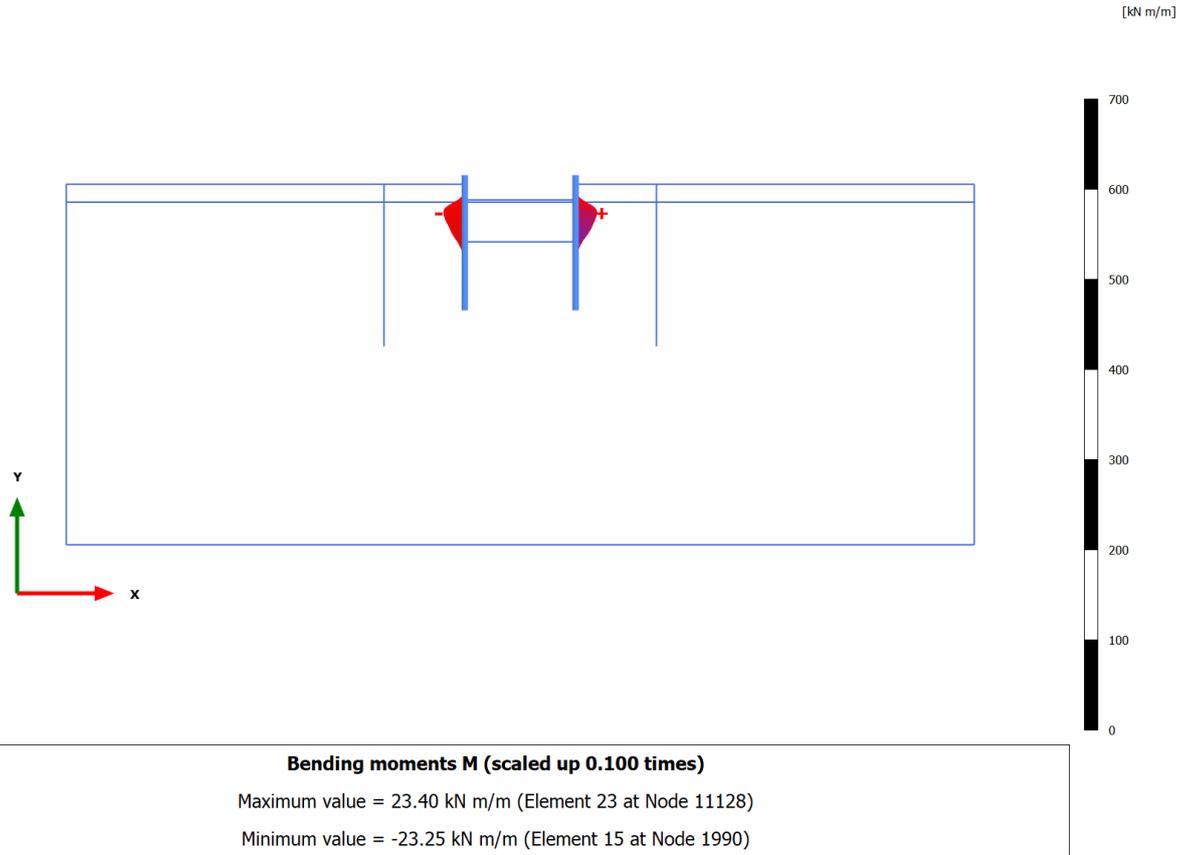
Bending moments M (scaled up 0.0200 times)
 Maximum value = 210.7 kN m/m (Element 19 at Node 5077)
 Minimum value = -209.0 kN m/m (Element 27 at Node 11811)

3.1.1.2.4 Calculation results, Plate, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/252), Bending moments M

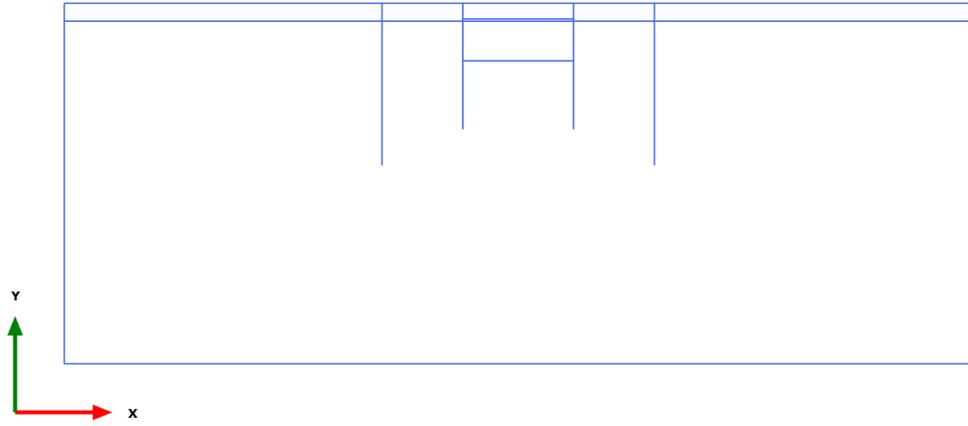


Bending moments M (scaled up 0.0200 times)
 Maximum value = 211.8 kN m/m (Element 19 at Node 5077)
 Minimum value = -210.1 kN m/m (Element 27 at Node 11811)

3.1.1.2.5 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Bending moments M

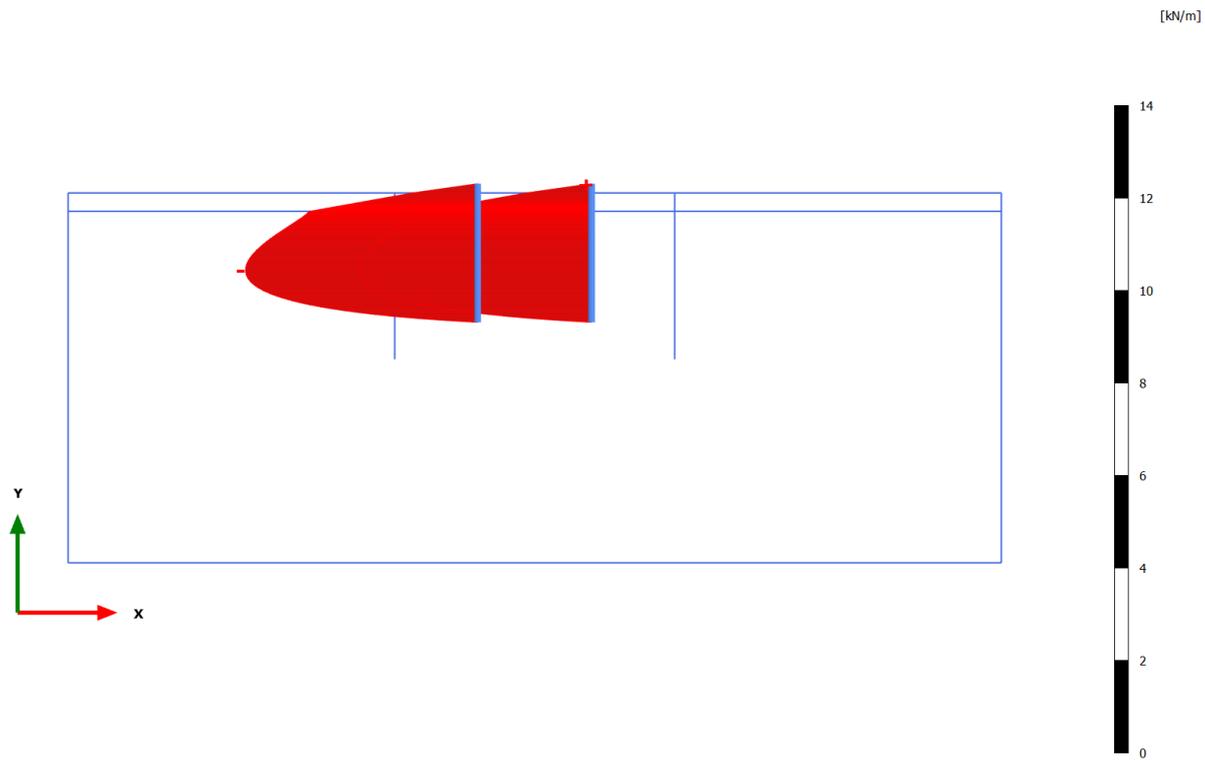


3.1.1.3.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Axial forces N



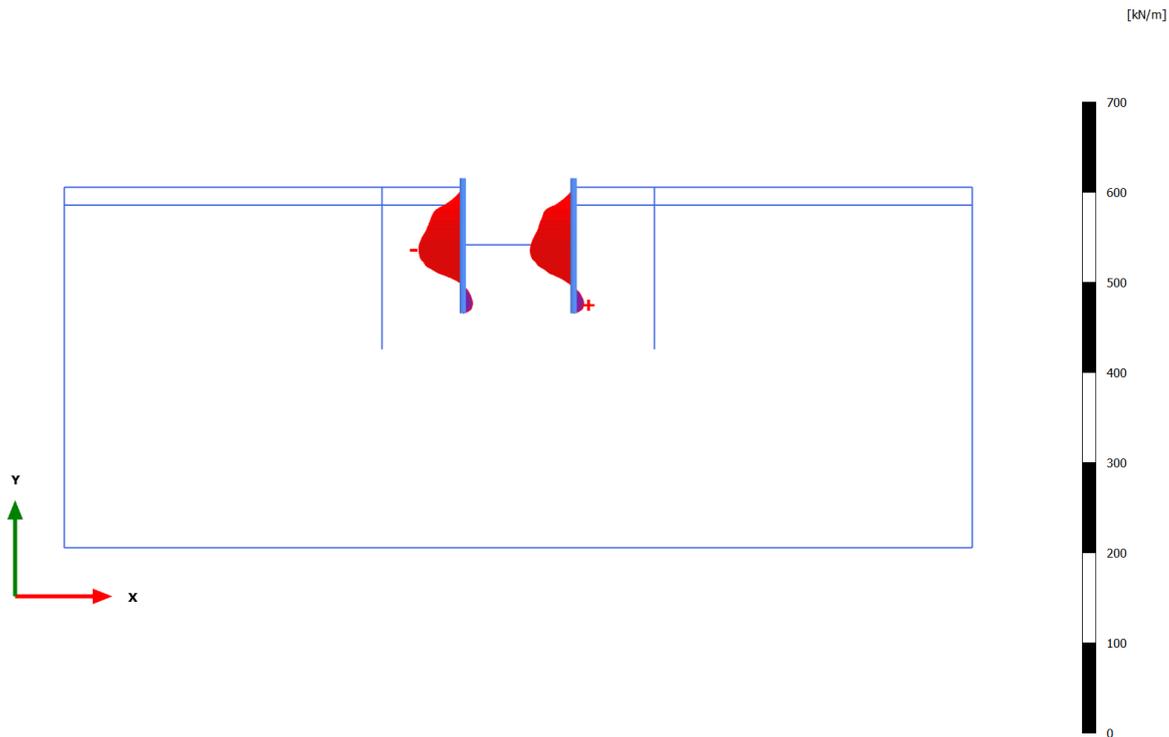
Axial forces N (scaled up 1.00 times)
No results

3.1.1.3.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Axial forces N



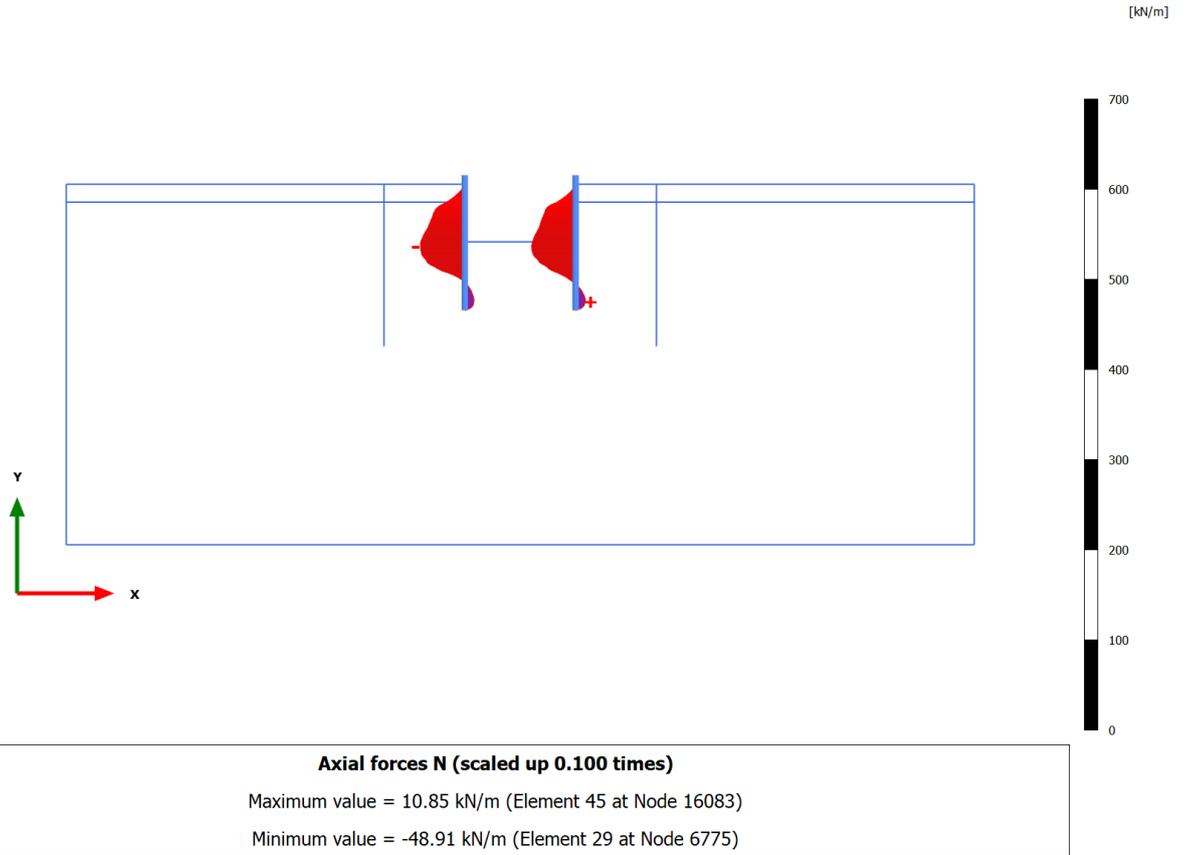
Axial forces N (scaled up 5.00 times)
 Maximum value = $-0.08506 \cdot 10^{-3}$ kN/m (Element 2 at Node 9903)
 Minimum value = -4.979 kN/m (Element 31 at Node 8172)

3.1.1.3.3 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Axial forces N

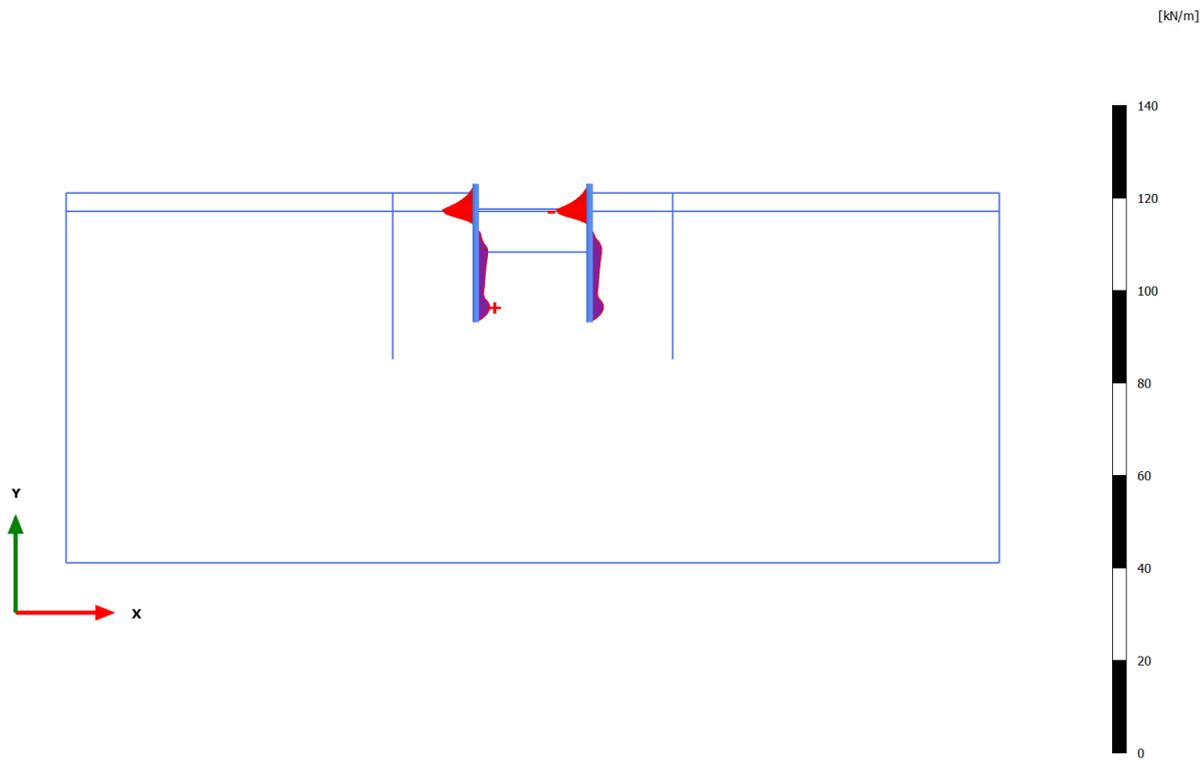


Axial forces N (scaled up 0.100 times)
 Maximum value = 11.32 kN/m (Element 45 at Node 16083)
 Minimum value = -48.49 kN/m (Element 29 at Node 6775)

3.1.1.3.4 Calculation results, Plate, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/252), Axial forces N

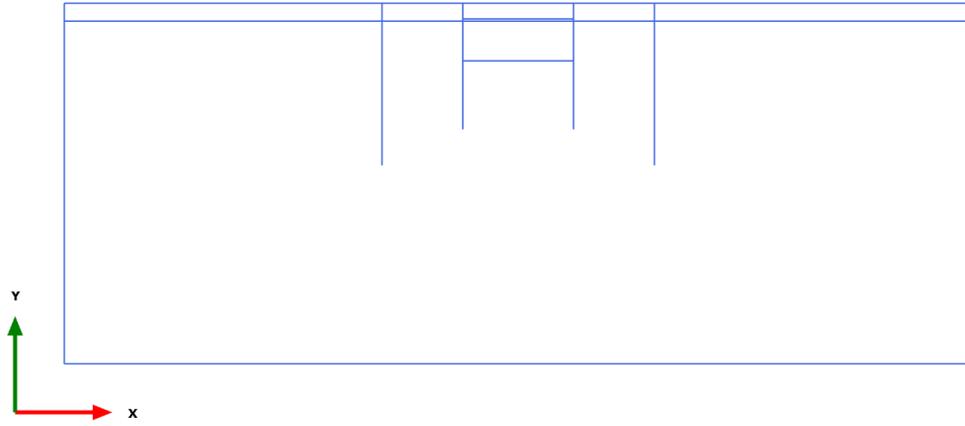


3.1.1.3.5 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Axial forces N



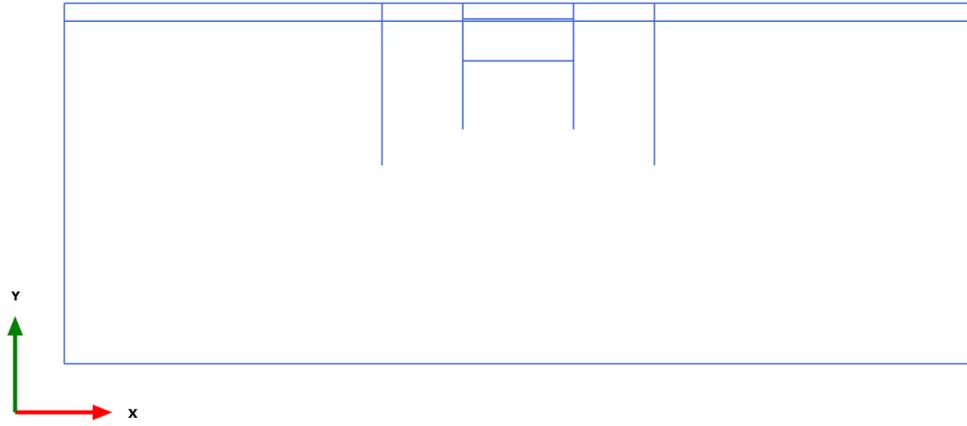
Axial forces N (scaled up 0.500 times)
 Maximum value = 3.021 kN/m (Element 36 at Node 12345)
 Minimum value = -7.159 kN/m (Element 12 at Node 11013)

3.2.1.1.1 Calculation results, Node-to-node anchor, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Anchor force for curves F N



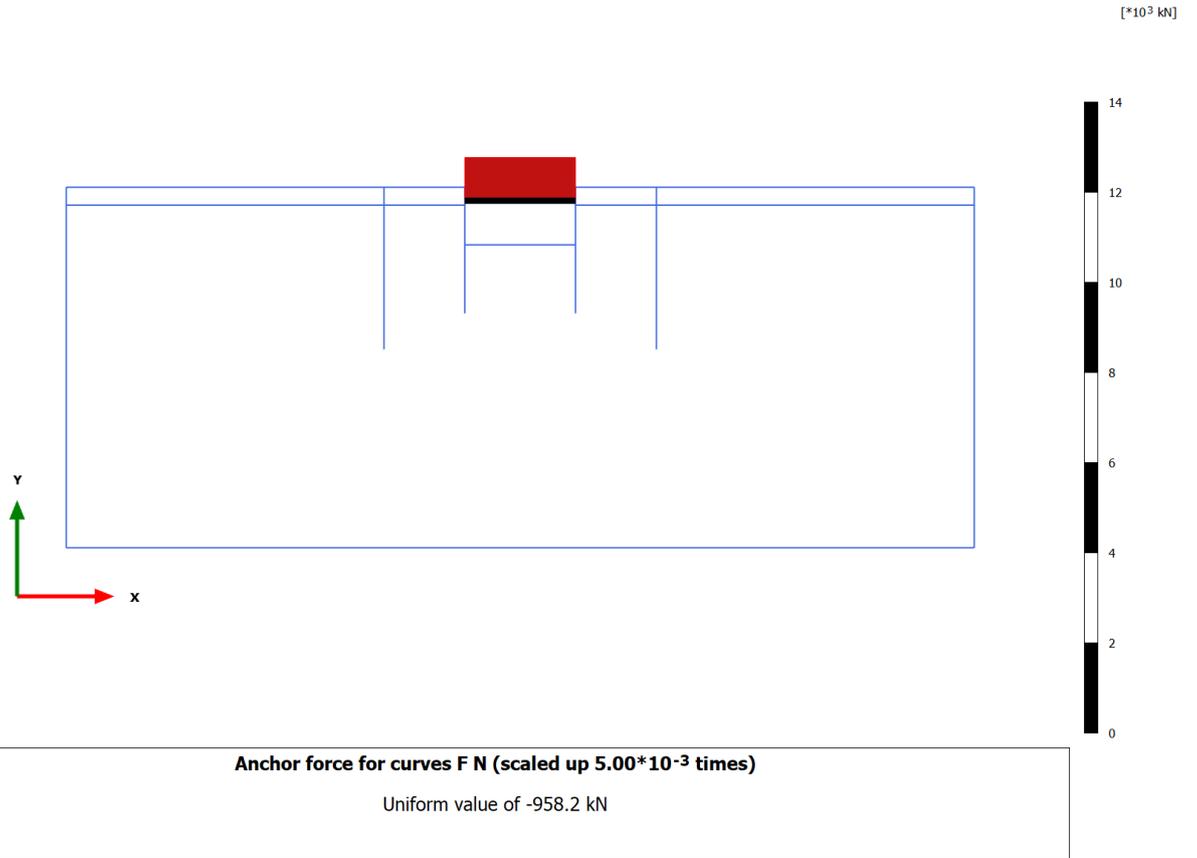
Anchor force for curves F N (scaled up 1.00 times)
No results

3.2.1.1.2 Calculation results, Node-to-node anchor, Palancole [Phase_2] (2/4), Anchor force for curves F N

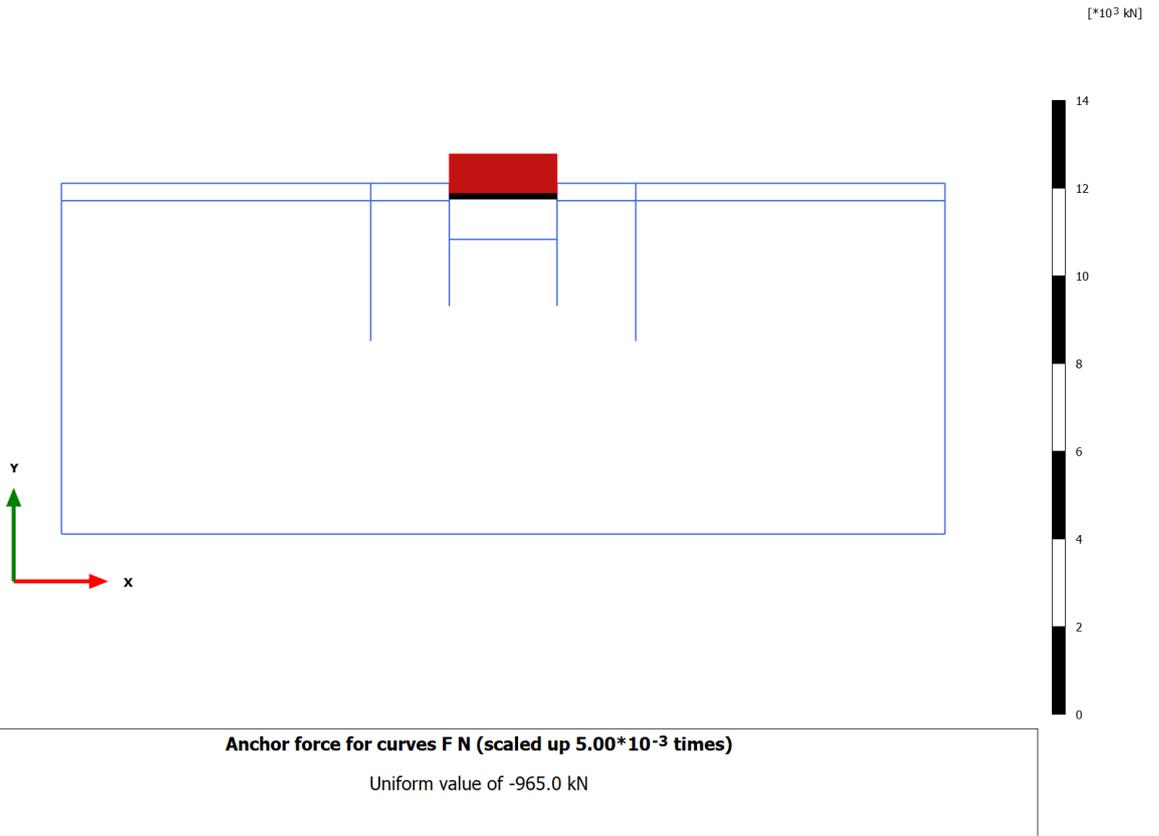


Anchor force for curves F N (scaled up 1.00 times)
No results

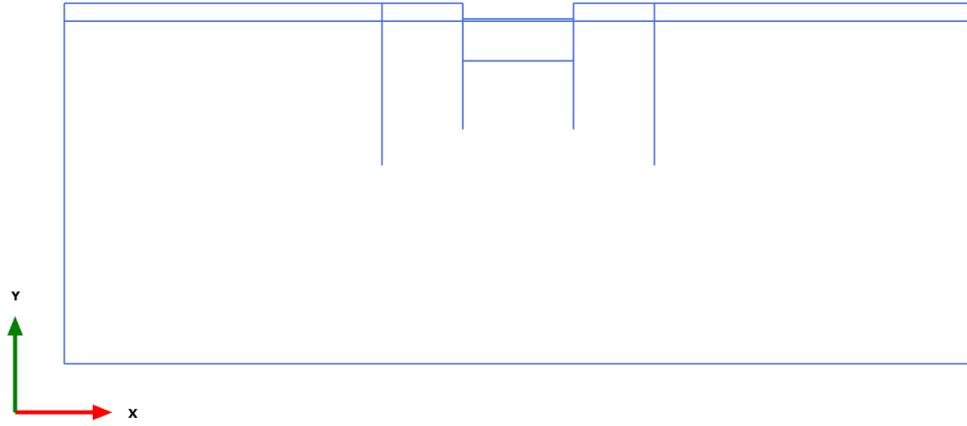
3.2.1.1.3 Calculation results, Node-to-node anchor, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Anchor force for curves F N



3.2.1.1.4 Calculation results, Node-to-node anchor, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/252), Anchor force for curves F N

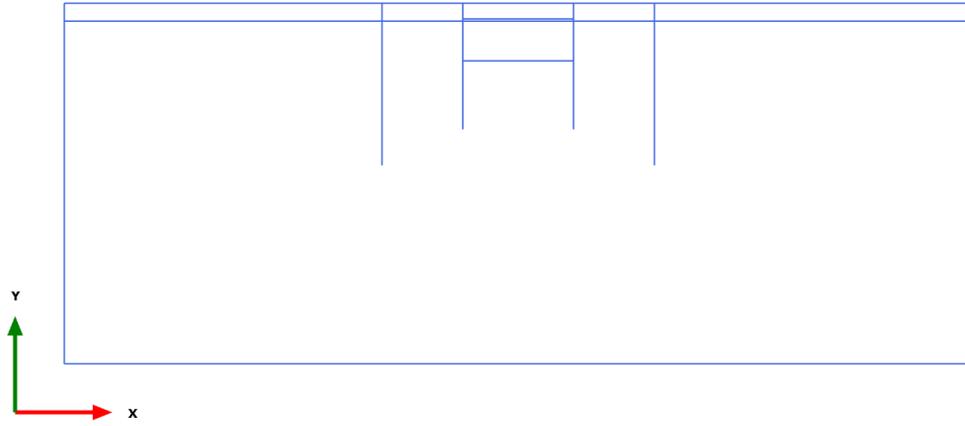


3.2.1.1.5 Calculation results, Node-to-node anchor, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Anchor force for curves F N



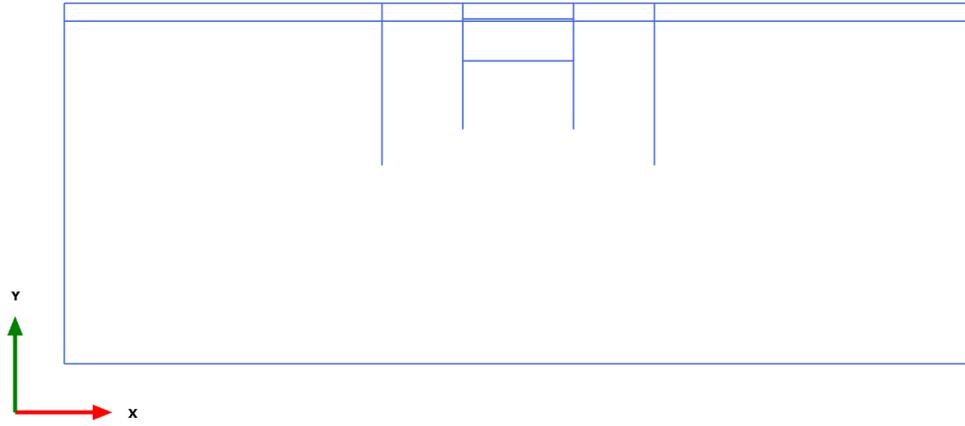
Anchor force for curves F N (scaled up 1.00 times)
No results

3.2.1.2.1 Calculation results, Node-to-node anchor, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Anchor force for curves FMin N_{min}



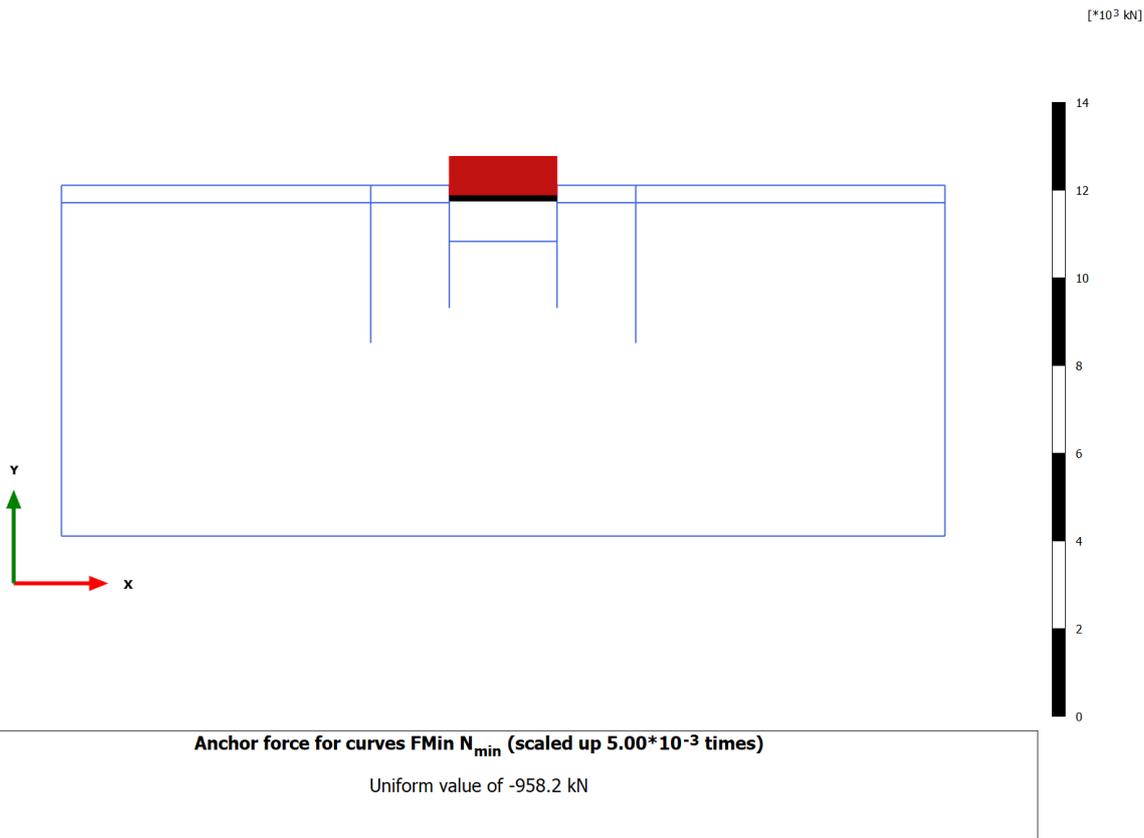
Anchor force for curves FMin N_{min} (scaled up 1.00 times)
No results

3.2.1.2.2 Calculation results, Node-to-node anchor, Palancolato [Phase_2] (2/4), Anchor force for curves FMin N_{min}

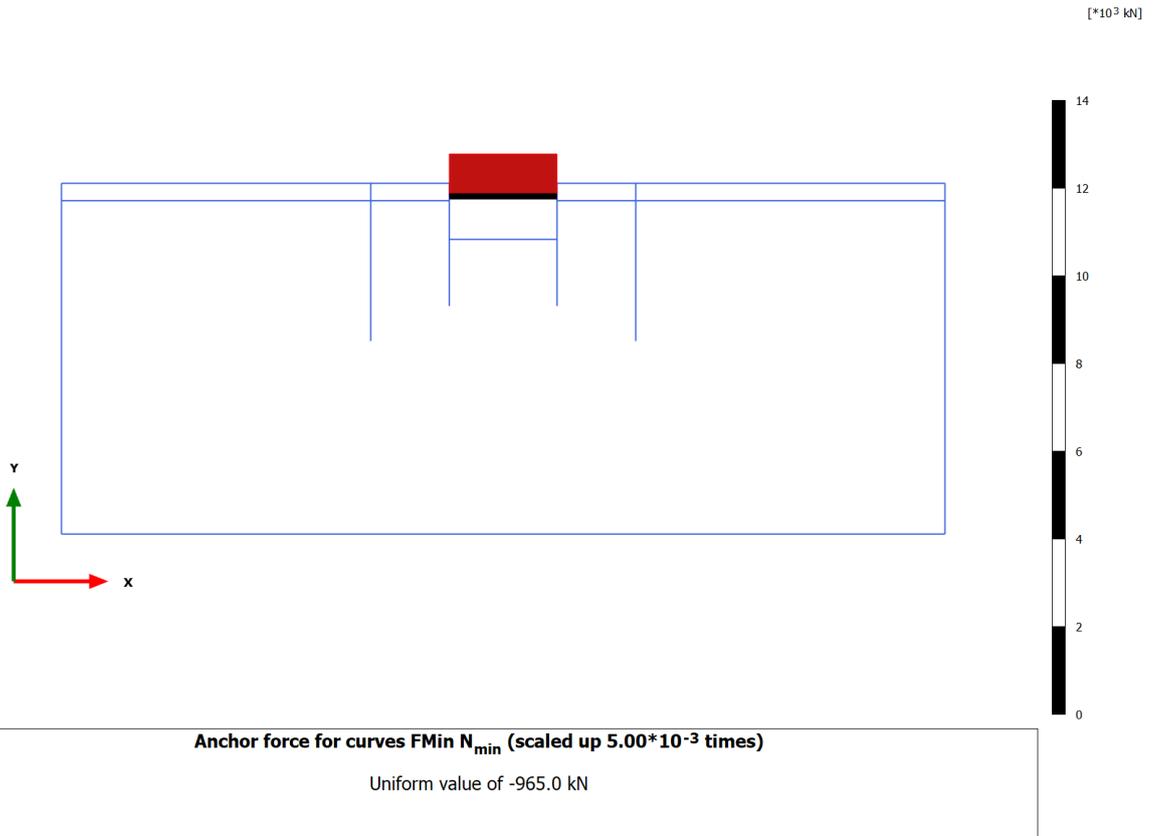


Anchor force for curves FMin N_{min} (scaled up 1.00 times)
No results

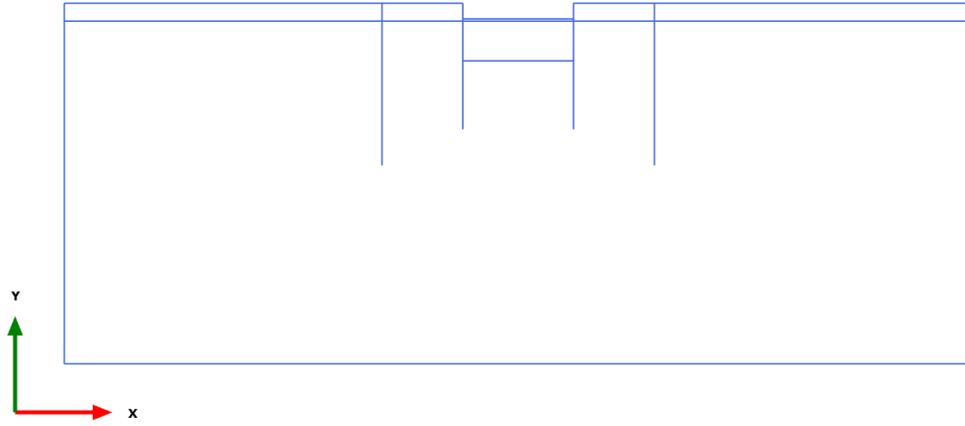
3.2.1.2.3 Calculation results, Node-to-node anchor, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Anchor force for curves FMin N_{min}



3.2.1.2.4 Calculation results, Node-to-node anchor, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/252), Anchor force for curves FMin N_{min}

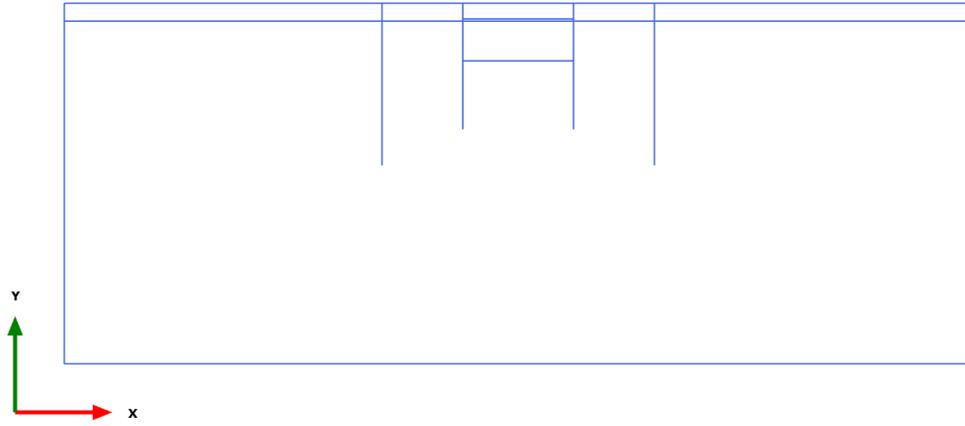


3.2.1.2.5 Calculation results, Node-to-node anchor, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Anchor force for curves FMin N_{min}



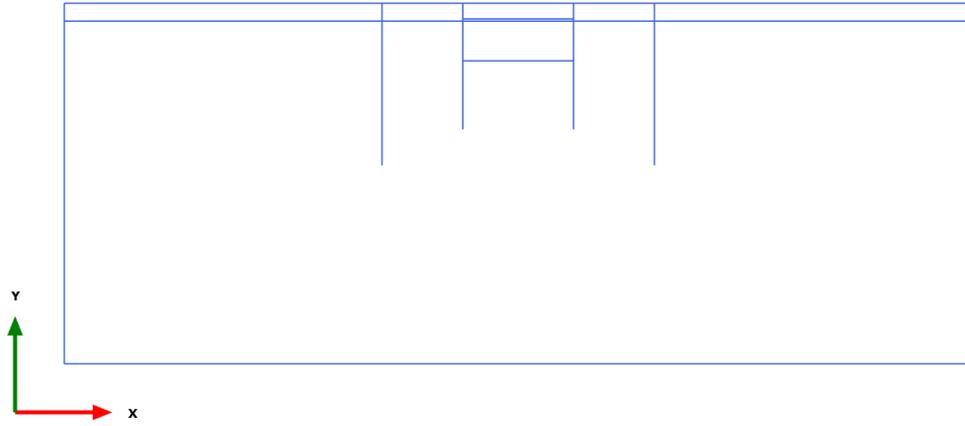
Anchor force for curves FMin N_{min} (scaled up 1.00 times)
No results

3.2.1.3.1 Calculation results, Node-to-node anchor, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Anchor force for curves FMax N_{max}



Anchor force for curves FMax N_{max} (scaled up 1.00 times)
No results

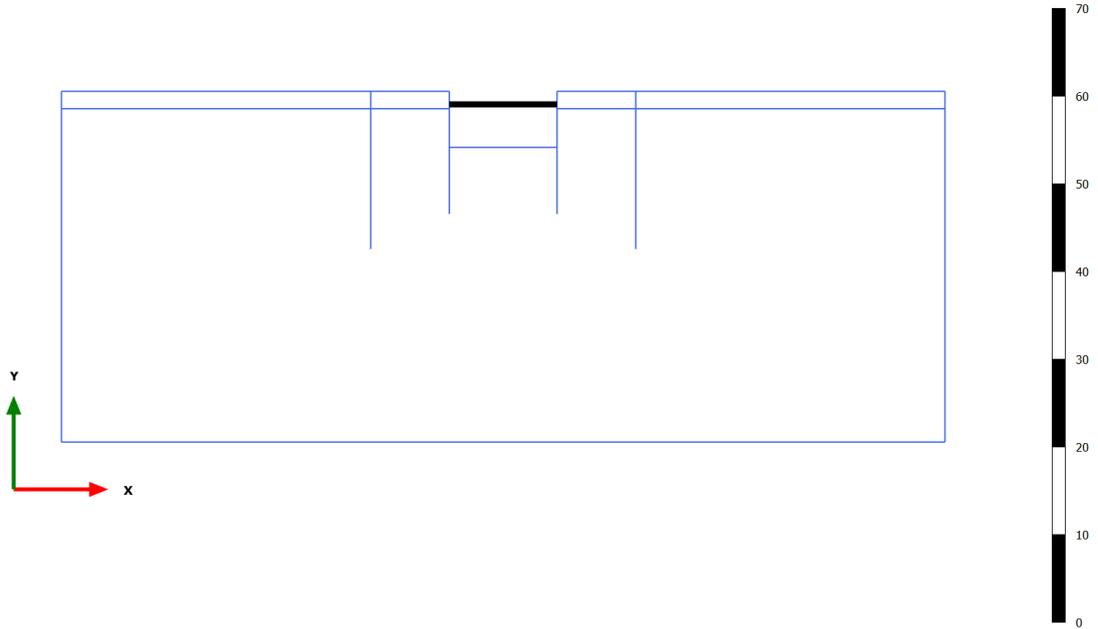
3.2.1.3.2 Calculation results, Node-to-node anchor, Palancolato [Phase_2] (2/4), Anchor force for curves FMax N_{max}



Anchor force for curves FMax N_{max} (scaled up 1.00 times)
No results

3.2.1.3.3 Calculation results, Node-to-node anchor, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/249), Anchor force for curves FMax N_{max}

[kN]

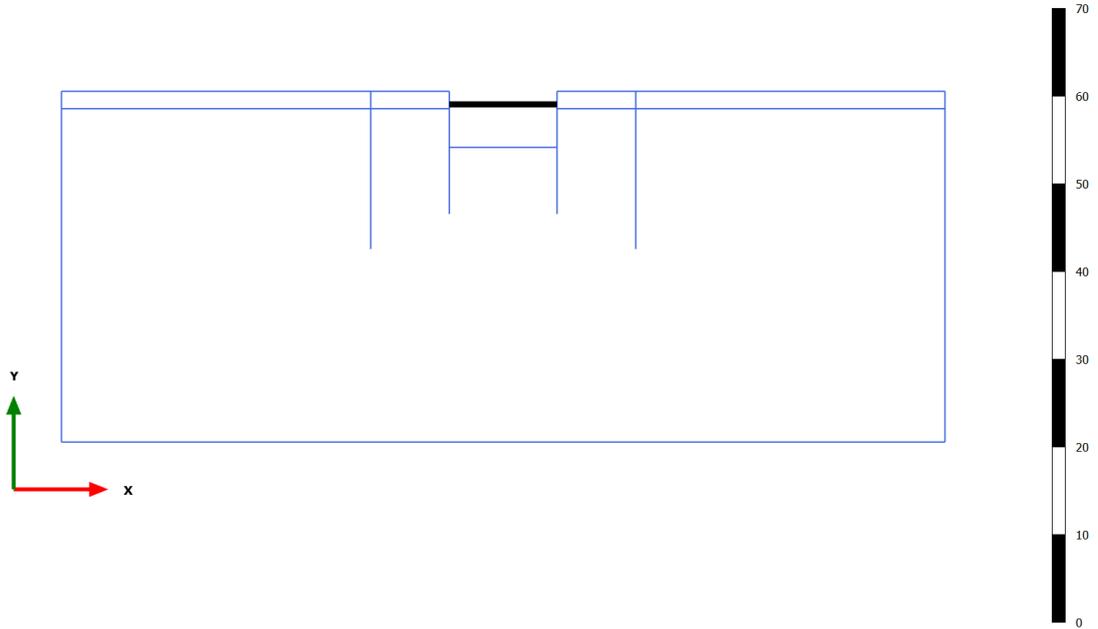


Anchor force for curves FMax N_{max} (scaled up 1.00 times)

Uniform value of 0.000 kN

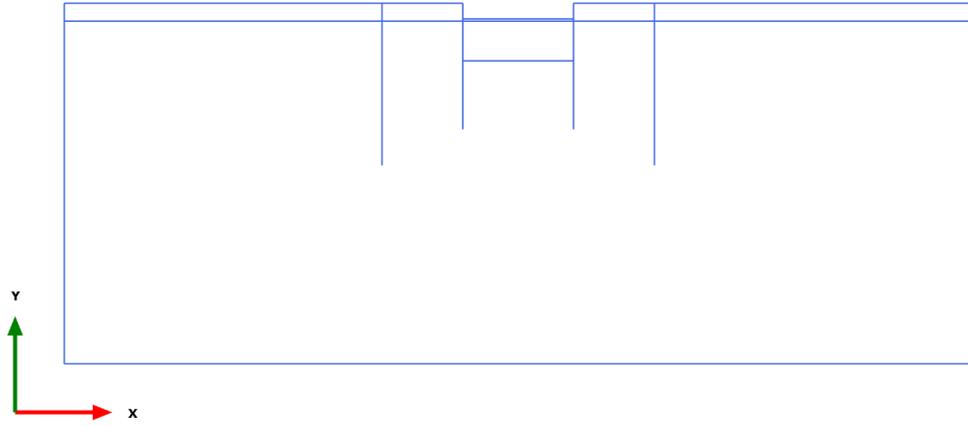
3.2.1.3.4 Calculation results, Node-to-node anchor, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/252), Anchor force for curves FMax N_{max}

[kN]



Anchor force for curves FMax N_{max} (scaled up 1.00 times)
 Uniform value of 0.000 kN

3.2.1.3.5 Calculation results, Node-to-node anchor, Scavo 1 [Phase_8] (8/816), Anchor force for curves FMax N_{max}



Anchor force for curves FMax N_{max} (scaled up 1.00 times)

No results

5.3 Tabulati di calcolo sezione 3

1.1.1.1.1.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification		Argilla	Sabbia
Identification number		4	5
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.50	19.00
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
E	kN/m ²	10.00E3	50.00E3
ν (nu)		0.3000	0.3000
G	kN/m ²	3846	19.23E3
E_{oed}	kN/m ²	13.46E3	67.31E3
c_{ref}	kN/m ²	0.000	0.000
ϕ (phi)	°	27.00	38.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000

Identification		Argilla	Sabbia
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
Y_{ref}	m	0.000	0.000
C_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
Y_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
v_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Manual	Manual
R_{inter}		0.6700	0.6700
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /s/m	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000
K_0 determination		Automatic	Automatic

Identification		Argilla	Sabbia
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5460	0.3843
$K_{0,z}$		0.5460	0.3843
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k_x	m/s	5.000E-6	0.02000E-3
k_y	m/s	5.000E-6	0.02000E-3
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10.00E3	10.00E3
e_{init}		0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0.000	0.000
D_v	m ² /s	0.000	0.000
f_{TV}		0.000	0.000

Identification		Argilla	Sabbia
Unfrozen water content		None	None
1.1.1.1.1.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)			
Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
Identification number		7	9
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.50	19.00
Dilatancy cut-off		No	No
e_{init}		0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
E	kN/m ²	10.00E3	50.00E3
ν (nu)		0.3000	0.3000
G	kN/m ²	3846	19.23E3
E_{Oed}	kN/m ²	13.46E3	67.31E3

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
c_{ref}	kN/m ²	0.5000	0.5000
ϕ (phi)	°	18.00	20.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V_s	m/s	45.16	99.65
V_p	m/s	84.49	186.4
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
v_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	375.0E3	1.875E6
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Rigid	Manual
R_{inter}		1.000	0.6700

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	$m^3/s/m$	0.000	0.000
R	$m^2 K/kW$	0.000	0.000
K_0 determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.6910	0.6580
$K_{0,z}$		0.6910	0.6580
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00
Use defaults		None	None
k_x	m/s	5.000E-6	0.02000E-3
k_y	m/s	5.000E-6	0.02000E-3
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3	10.00E3
e_{init}		0.5000	0.5000

Identification		Argilla_Interfaccia	Sabbia_Interfaccia
S_s	1/m	0.000	0.000
C_k		1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0.000	0.000
D_v	m ² /s	0.000	0.000
f_{Tv}		0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None

1.1.1.2 Materials - Plates -

Identification		PU_18
Identification number		1
Comments		
Colour		
Material type		Elastic
Isotropic		Yes
EA_1	kN/m	3.429E6
EA_2	kN/m	3.429E6
EI	kN m ² /m	81.16E3
d	m	0.5329
w	kN/m/m	1.280
ν (nu)		0.000
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000
Prevent punching		No
Identification number		1
c	kJ/t/K	0.000
λ	kW/m/K	0.000

Identification

ρ t/m³

α 1/K

1.1.1.3 Materials - Anchors -

Identification steel Ø298.5#10.0 i=5.5m

Identification number 1

Comments

Colour



Material type Elastic

EA kN 1.900E6

L_{spacing} m 6.000

Identification number 1

c kJ/t/K 0.000

λ kW/m/K 0.000

ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

Identification number 1

c kJ/t/K 0.000

λ kW/m/K 0.000

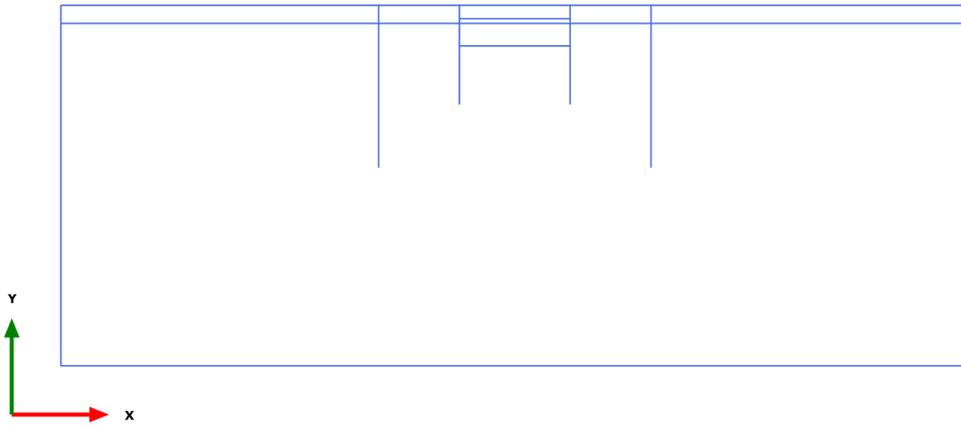
ρ t/m³ 0.000

α 1/K 0.000

A m² 0.000

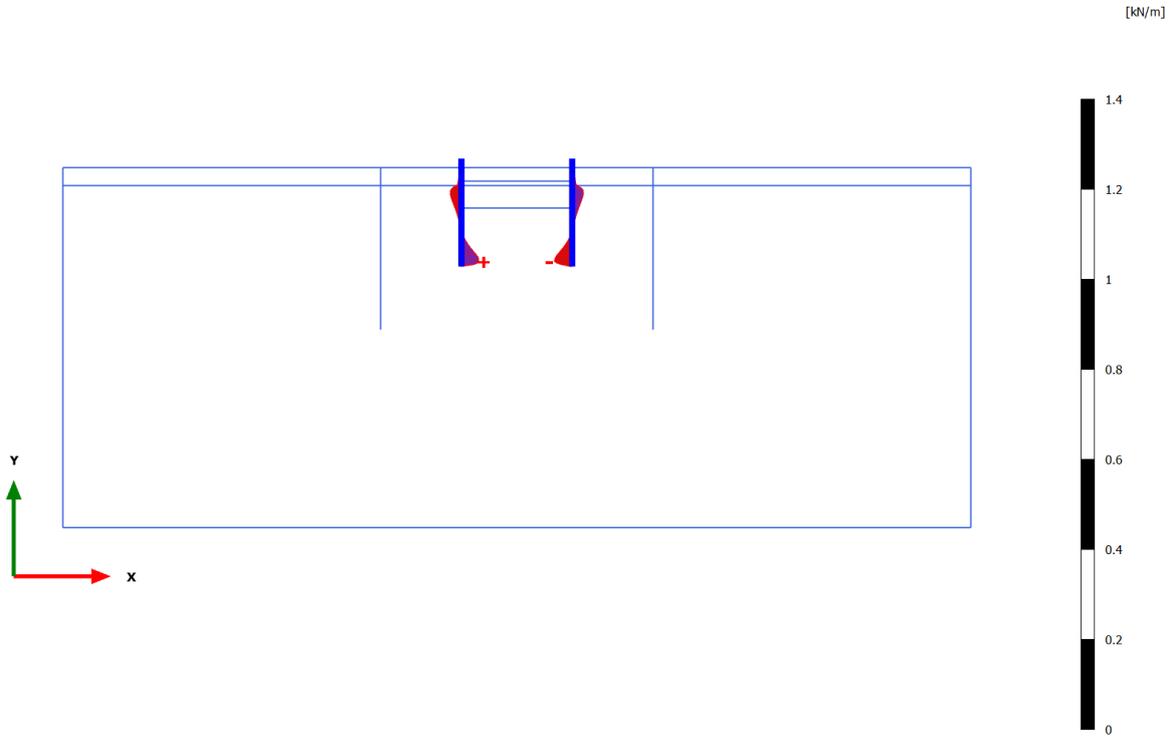
Identification		steel $\varnothing 298.5 \times 10.0$ $i=5.5$ m
Identification number		1
c	kJ/t/K	0.000
λ	kW/m/K	0.000
ρ	t/m^3	0.000
α	$1/\text{K}$	0.000
A	m^2	0.000

3.1.1.1.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 1.00 times)
No results

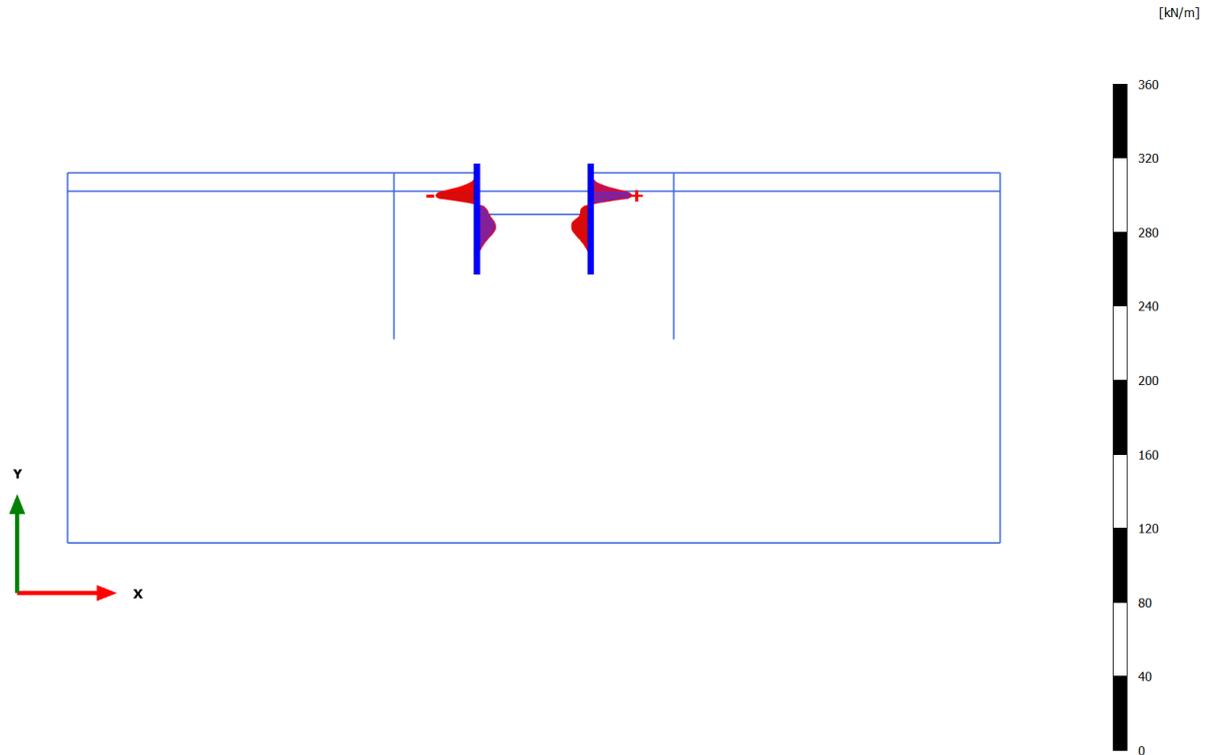
3.1.1.1.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Shear forces Q



Shear forces Q (scaled up 50.0 times)

Maximum value = 0.03883 kN/m (Element 22 at Node 8544)
 Minimum value = -0.03952 kN/m (Element 30 at Node 10807)

3.1.1.1.3 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/34), Shear forces Q

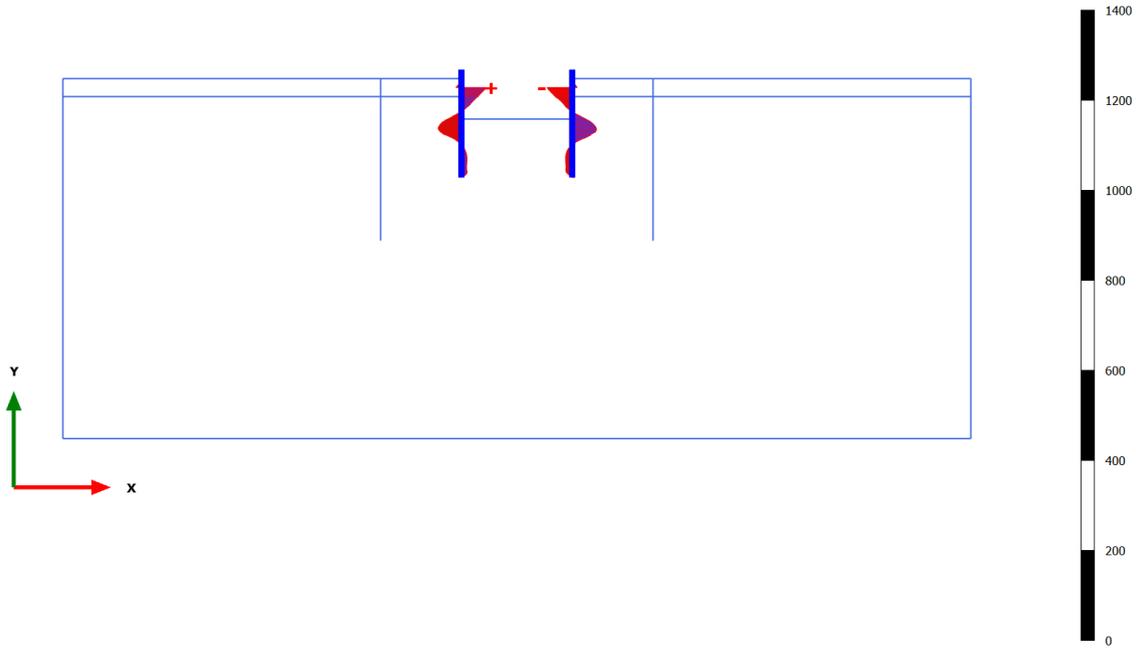


Shear forces Q (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 22.06 kN/m (Element 12 at Node 7739)
 Minimum value = -22.12 kN/m (Element 9 at Node 2275)

3.1.1.1.4 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/104), Shear forces Q

[kN/m]



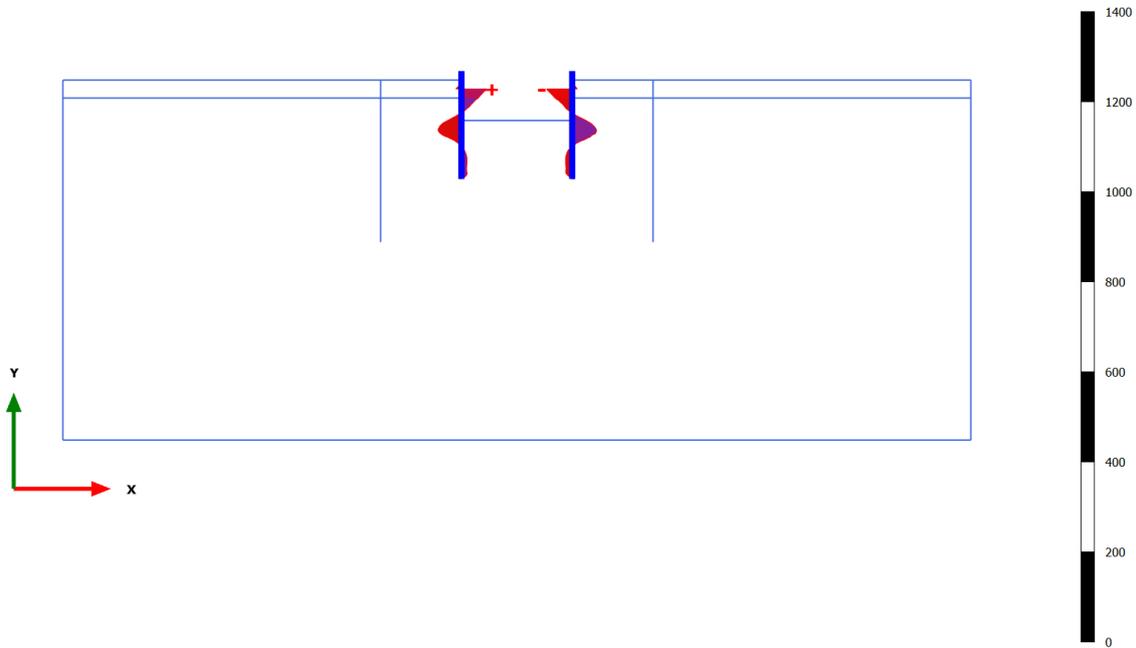
Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 55.00 kN/m (Element 5 at Node 1091)

Minimum value = -56.05 kN/m (Element 6 at Node 7751)

3.1.1.1.5 Calculation results, Plate, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/106), Shear forces Q

[kN/m]

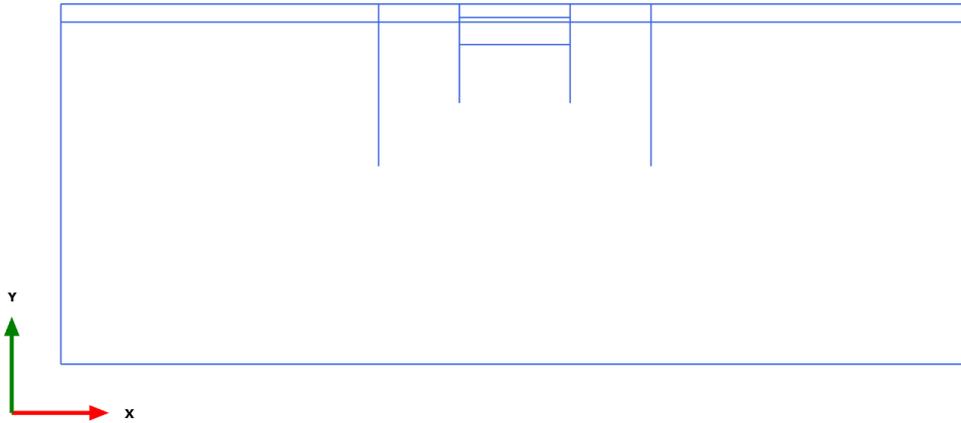


Shear forces Q (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 55.63 kN/m (Element 5 at Node 1091)

Minimum value = -56.58 kN/m (Element 6 at Node 7751)

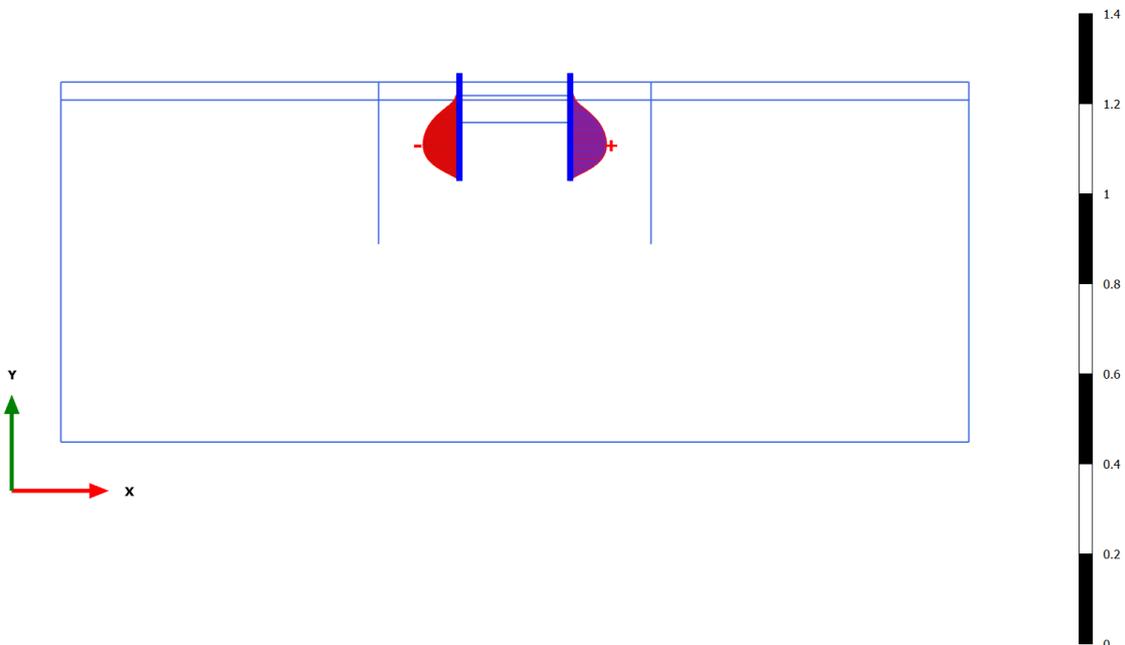
3.1.1.2.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Bending moments M



Bending moments M (scaled up 1.00 times)
No results

3.1.1.2.2 Calculation results, Plate, Palancoleto [Phase_2] (2/4), Bending moments M

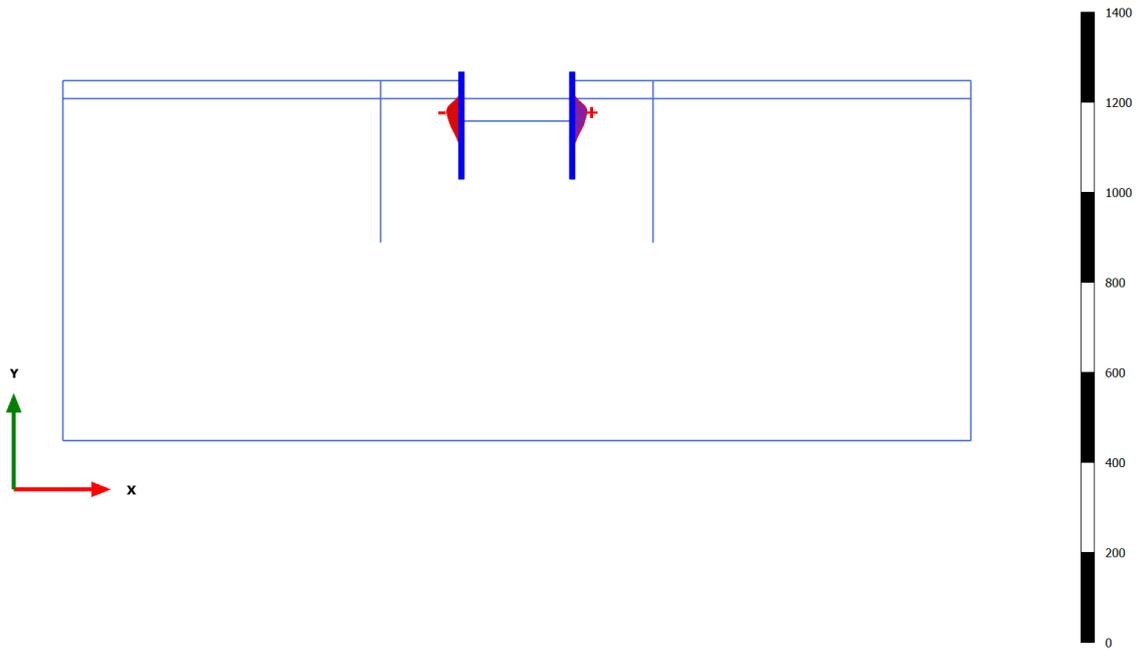
[kN m/m]



Bending moments M (scaled up 50.0 times)
Maximum value = 0.08024 kN m/m (Element 26 at Node 8814)
Minimum value = -0.08026 kN m/m (Element 17 at Node 5807)

3.1.1.2.3 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/34), Bending moments M

[kN m/m]



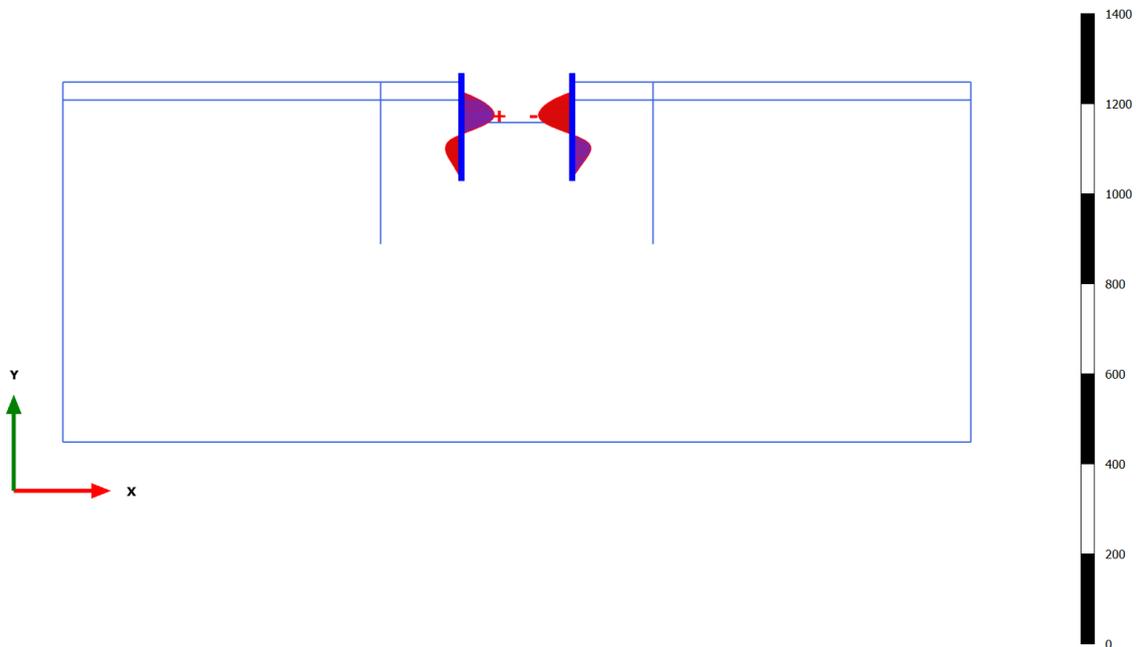
Bending moments M (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 32.65 kN m/m (Element 13 at Node 7830)

Minimum value = -32.56 kN m/m (Element 10 at Node 2898)

3.1.1.2.4 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/104), Bending moments M

[kN m/m]



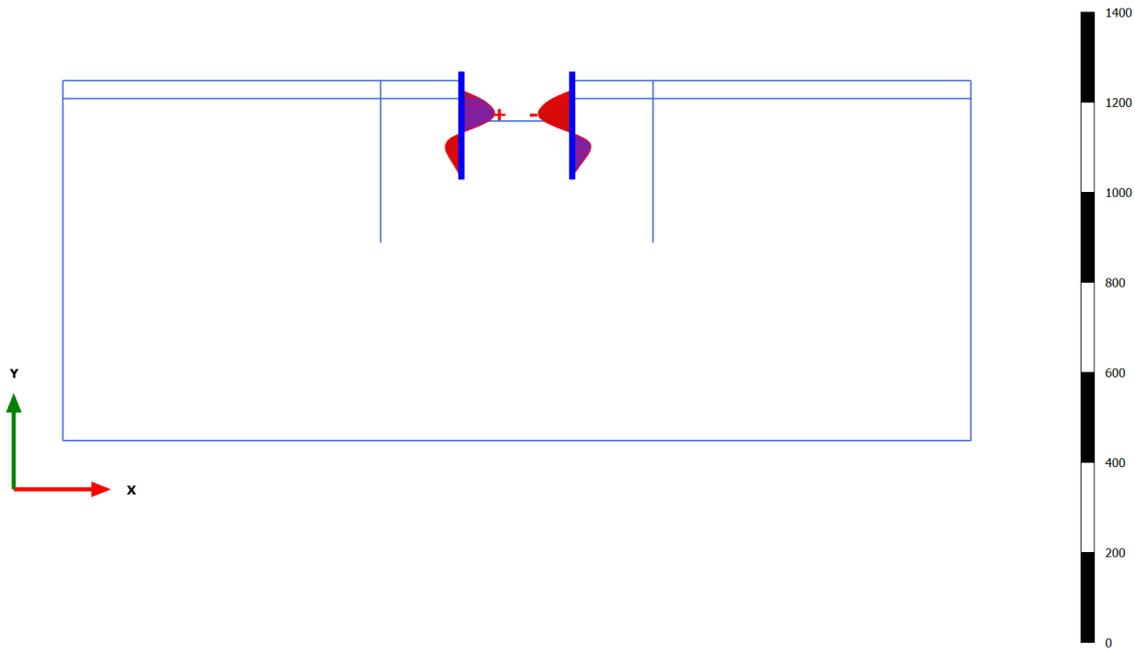
Bending moments M (scaled up 0.0500 times)

Maximum value = 72.53 kN m/m (Element 11 at Node 3397)

Minimum value = -74.41 kN m/m (Element 14 at Node 8055)

3.1.1.2.5 Calculation results, Plate, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/106), Bending moments M

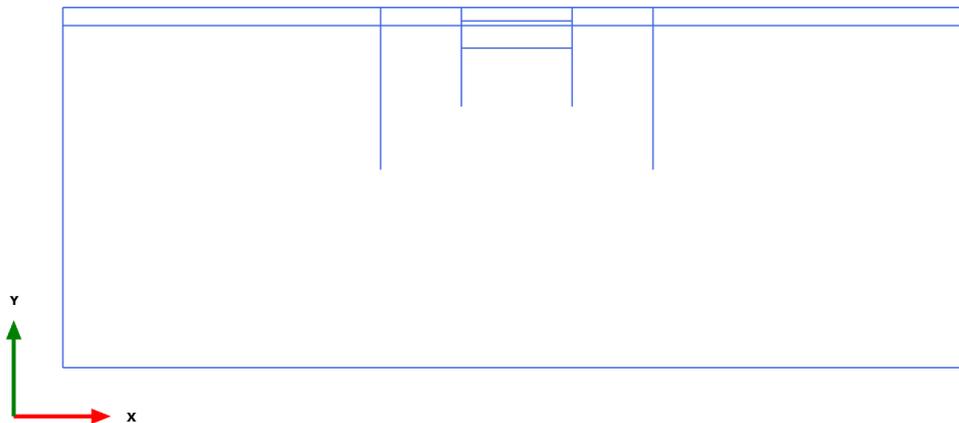
[kN m/m]

**Bending moments M (scaled up 0.0500 times)**

Maximum value = 73.25 kN m/m (Element 11 at Node 3397)

Minimum value = -74.94 kN m/m (Element 13 at Node 8055)

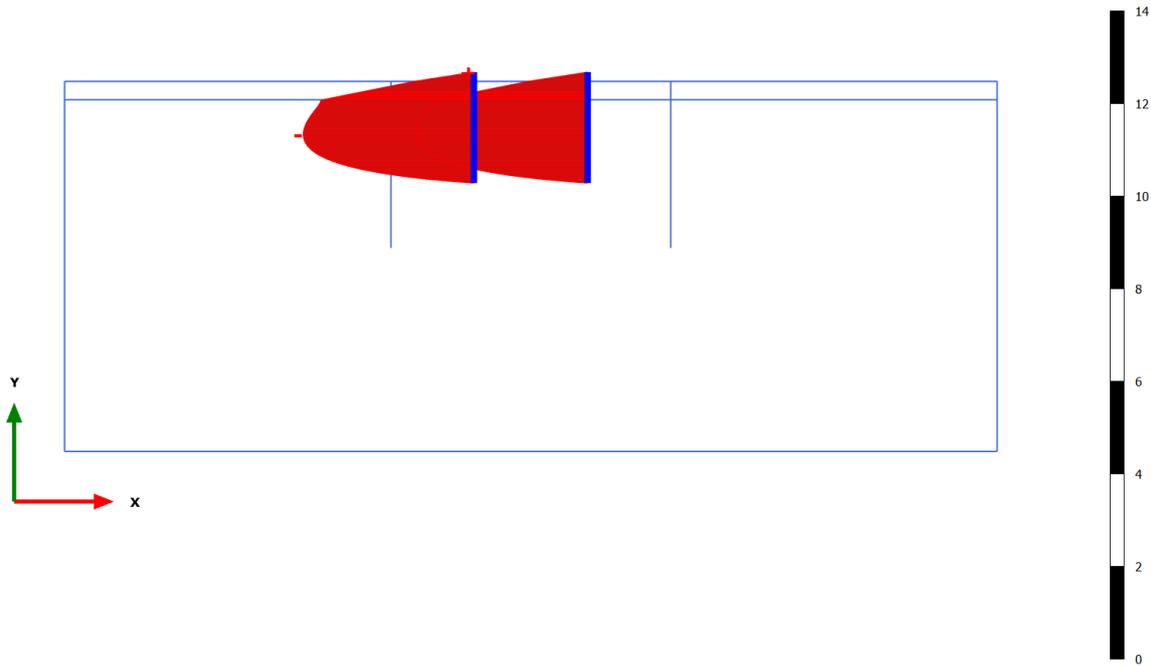
3.1.1.3.1 Calculation results, Plate, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Axial forces N

**Axial forces N (scaled up 1.00 times)**

No results

3.1.1.3.2 Calculation results, Plate, Palancolato [Phase_2] (2/4), Axial forces N

[kN/m]



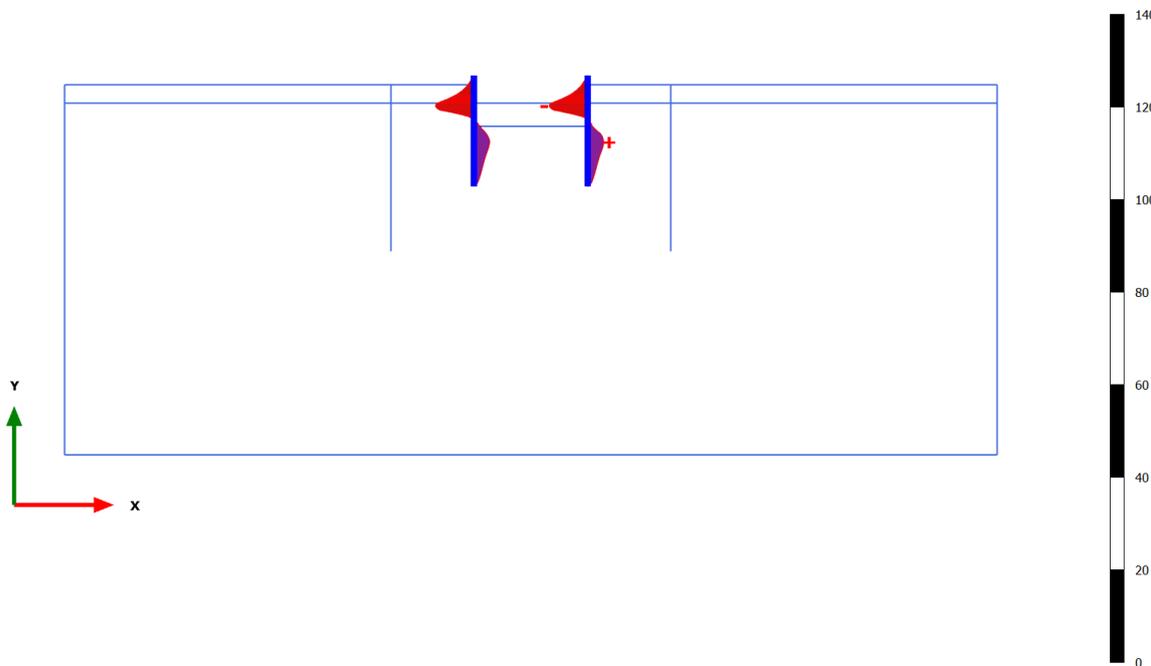
Axial forces N (scaled up 5.00 times)

Maximum value = $-0.07777 \cdot 10^{-3}$ kN/m (Element 1 at Node 637)

Minimum value = -3.662 kN/m (Element 16 at Node 4399)

3.1.1.3.3 Calculation results, Plate, Scavo 1 [Phase_8] (8/34), Axial forces N

[kN/m]

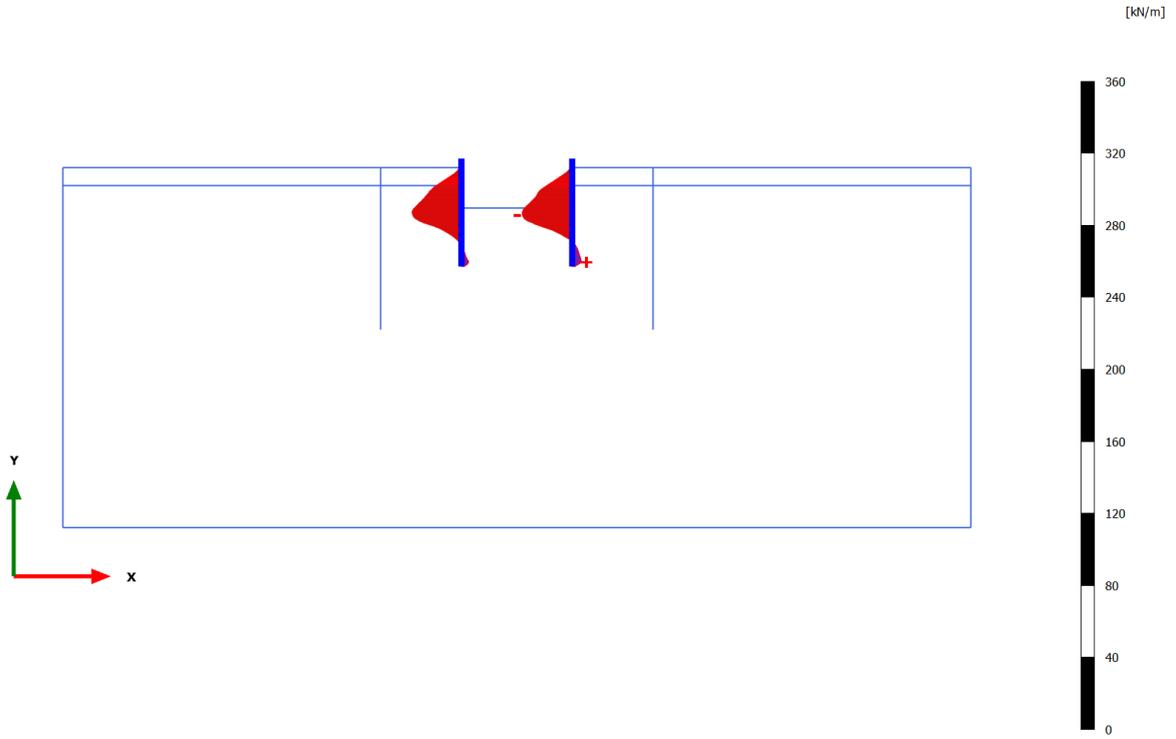


Axial forces N (scaled up 0.500 times)

Maximum value = 3.472 kN/m (Element 25 at Node 8800)

Minimum value = -8.246 kN/m (Element 12 at Node 7738)

3.1.1.3.4 Calculation results, Plate, Puntone e Scavo max [Phase_3] (3/104), Axial forces N

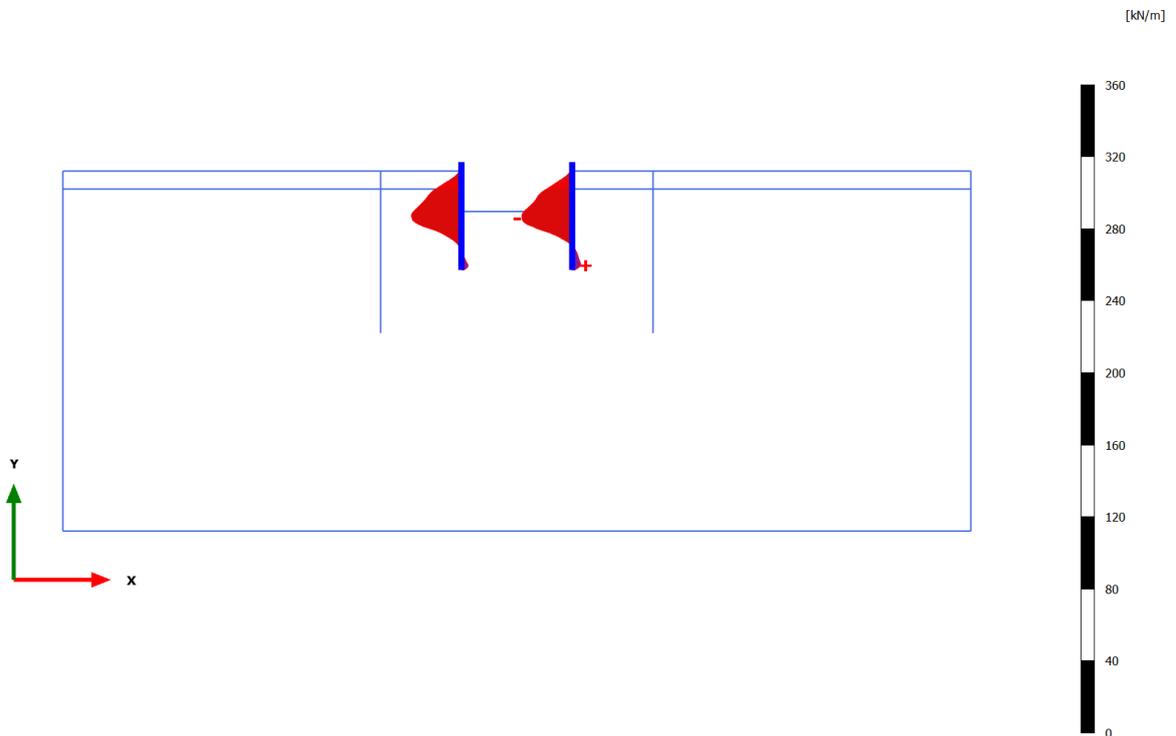


Axial forces N (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 5.025 kN/m (Element 30 at Node 10807)

Minimum value = -27.53 kN/m (Element 23 at Node 8076)

3.1.1.3.5 Calculation results, Plate, Sovraccarico x1.15 (STR - SLU/1.3) [Phase_4] (4/106), Axial forces N



Axial forces N (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 4.726 kN/m (Element 30 at Node 10807)

Minimum value = -27.76 kN/m (Element 23 at Node 8076)