

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI  
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI  
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria



Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI  
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA  
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IV02 – da km 0+486.603 a km 0+566.004 (Viabilità accesso fermata Campomarino)  
Relazione di calcolo opere provvisori

L'Appaltatore  
Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.  
Il Direttore Tecnico  
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)  
Ing. Massimo Facchini

Data 15/12/2023

firma

Data 15/12/2023

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	C L	I V 0 2 0 X	0 0 1	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	Ing. M. Calderoni	Dicembre 2022	Ing. V. Calzona	Dicembre 2022	Ing. S. Canale	Dicembre 2022	
B	Emissione per RdV	Ing. M. Pugliese	Luglio 2023	Ing. M. Calderoni	Luglio 2023	Ing. S. Canale	Luglio 2023	
C	Revisione a seguito ODI-J-01	Ing. M. Pugliese	Ottobre 2023	Ing. M. Calderoni	Ottobre 2023	Ing. S. Canale	Ottobre 2023	Ing. Massimo Facchini Ottobre 2023

File: LI0B02EZZCLIV020X001C.DOCX

n. Elab.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>1</b>

**INDICE**

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>5</b>
2.1 Normativa di riferimento.....	5
2.2 Documenti di riferimento.....	5
<b>3. GEOMETRIA DELLE STRUTTURE</b> .....	<b>6</b>
<b>4. MATERIALI</b> .....	<b>7</b>
4.1 CALCESTRUZZO PALI RCK> 30 MPA (C25/30).....	7
4.2 ACCIAIO D'ARMATURA B450C.....	7
4.3 ACCIAIO PER PALANCOLE LARSEN 605K S355 E PUNTONI.....	7
<b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA</b> .....	<b>8</b>
<b>6. ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>9</b>
6.1 Spinta delle Terre.....	9
6.2 Sovraccarichi.....	10
6.3 AZIONI SISMICHE.....	10
<b>7. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA</b> .....	<b>11</b>
7.1 Verifiche nei confronti degli Stati Limite Ultimi (SLU).....	11
7.2 Approccio progettuale allo SLU.....	11
7.3 Approccio progettuale allo SLE.....	12
7.4 Combinazioni delle azioni.....	12
<b>8. DIMENSIONAMENTO PARATIA</b> .....	<b>14</b>
8.1 METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI GENERALI.....	14
8.2 Verifica SLE.....	15
8.3 Verifica SLU.....	15
8.4 Verifica delle travi di ripartizione.....	16
8.5 Verifica delle sezioni in acciaio di carpenteria metallica.....	17
<b>9. ANALISI DELLE OPERE</b> .....	<b>22</b>
9.1 VERIFICA DELLA PARATIA.....	22
<b>10. VERIFICHE</b> .....	<b>28</b>
10.1 Sezione 1.....	28
10.2 Verifica sottospinta idraulica.....	44
<b>11. APPENDICE A. ANALISI PARATIE. TABULATI DI CALCOLO PARATIE</b> .....	<b>45</b>

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

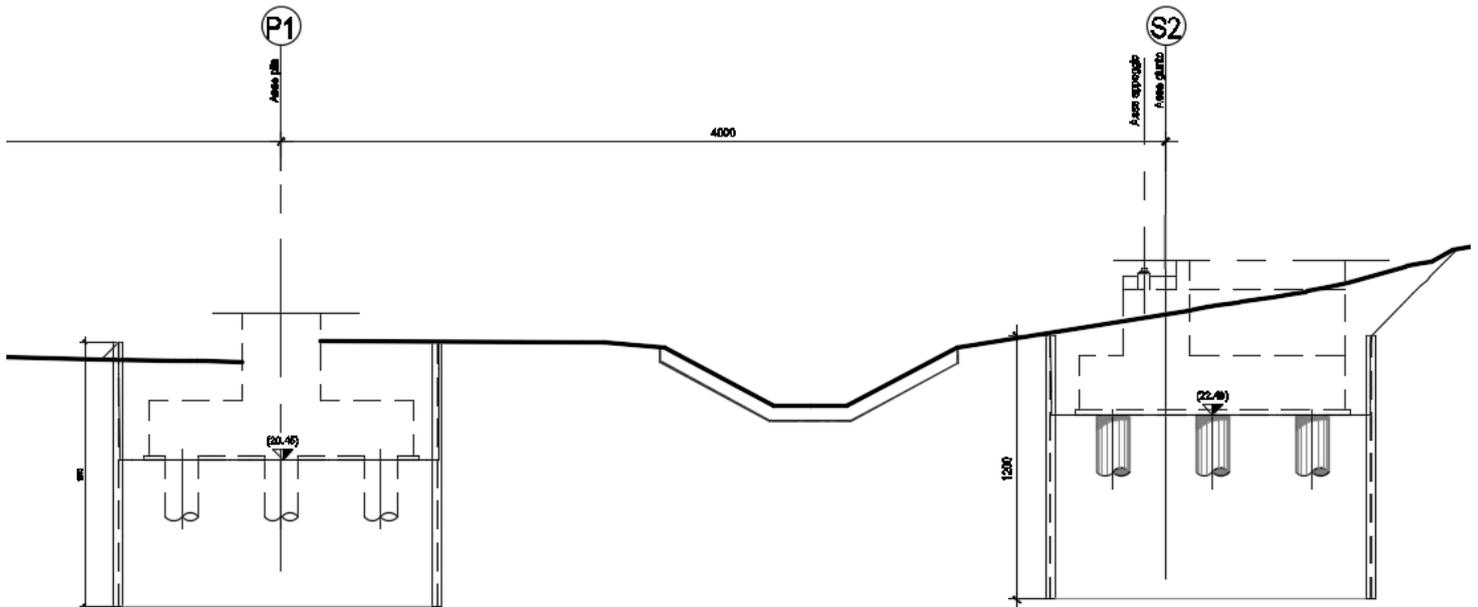
COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	2

**1. PREMESSA**

Il presente elaborato attiene alla progettazione esecutiva per la realizzazione dei Lotti 2 e 3 Termoli - Ripalta del raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina sulla Linea Pescara – Bari, dal km 0+000 al km 24+900, per uno sviluppo di circa 24,9 km.

In particolare la presente relazione di calcolo fa riferimento al dimensionamento e verifica delle opere provvisionali necessarie per la realizzazione degli scavi per le fondazioni della pila P1 e della spalla S2 del cavalcavia denominato IV02.

Le opere provvisionali vengono realizzate attraverso palancole disposte su tutti e quattro i lati dello scavo, con una lunghezza degli elementi infissi pari a 12.0m.



*Figura 1.1: Sezione longitudinale – IV02*

L' altezza di scavo maggiore si raggiunge per la realizzazione della pila P1 pari a 5.35m, con tale altezza di scavo si procede alle verifiche nel seguito riportate.

Entrambe le opere provvisionali presentano un sistema di puntoni:

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>3</b>

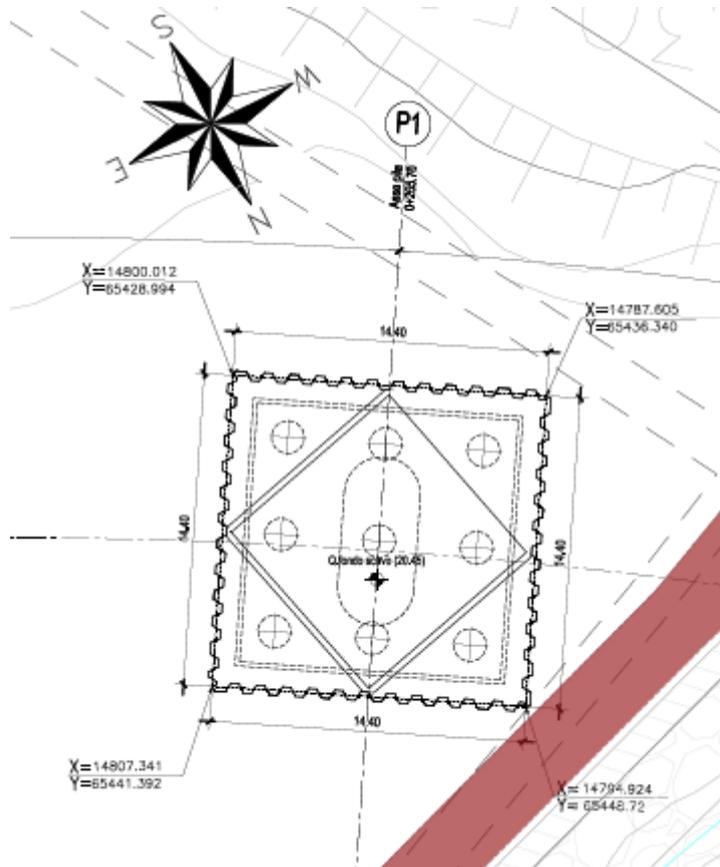
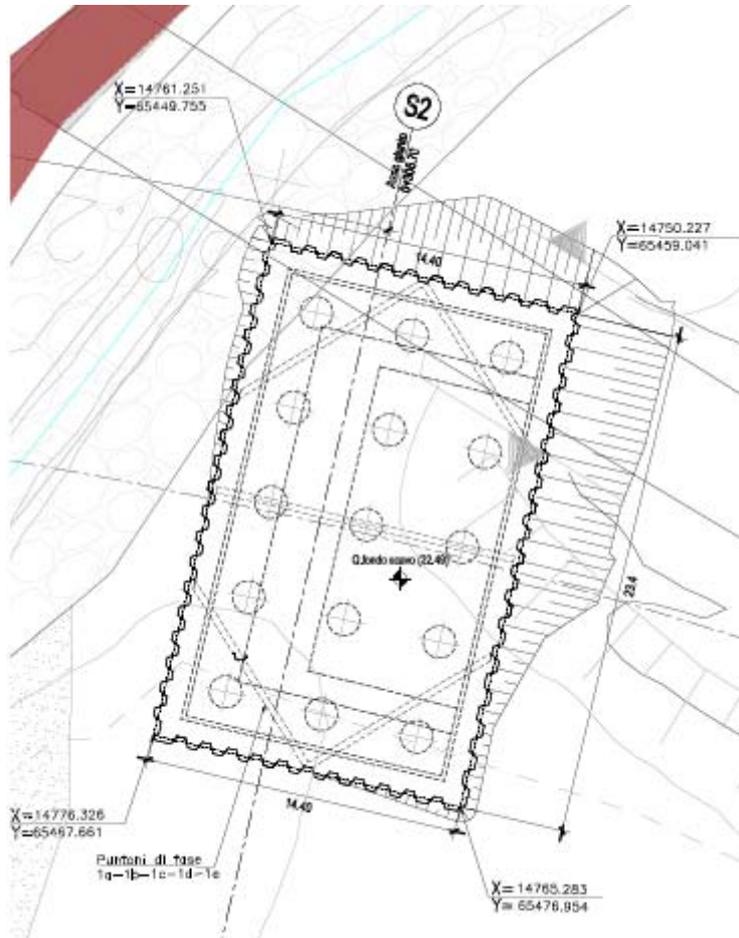


Figura 1.2 : Planimetria a livello fondazioni - IV02-P01

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>4</b>



*Figura 1.3 : Planimetria a livello fondazioni - IV02-S02*

MANDATARIA 		MANDANTI 		<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>							
<b>IV02 - Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>5</b>

## 2. **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in conformità alla seguente normativa:

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;
- [N.3]. Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea.
- [N.4]. Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010.
- [N.5]. RFI DTC SICS MA IFS 001 B del 22-12-17 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili.
- [N.6]. Raccomandazioni sui pali di fondazione. Associazione geotecnica italiana. Dicembre, 1984.

### 2.2 **DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai documenti presentati nell'ambito del progetto esecutivo.

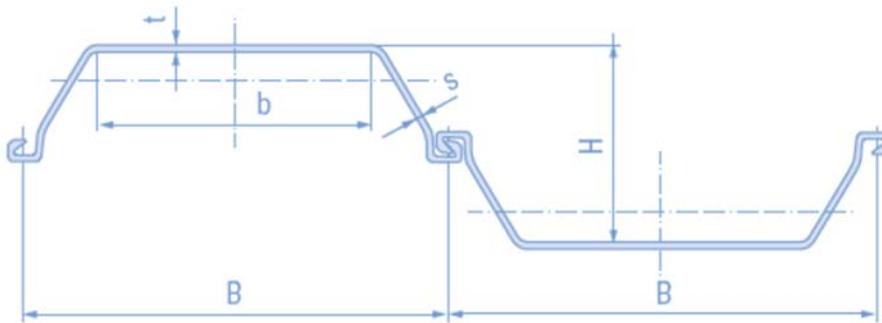
**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	6

### 3. GEOMETRIA DELLE STRUTTURE

Le opere provvisionali inerenti la presente relazione di calcolo sono costituite da paratie, realizzate mediante l'utilizzo di palancole metalliche tipo Larsen 605 K.

Di seguito vengono riportate le caratteristiche geometriche e meccaniche:



Profilo	:	Tipo Larsen 605 K			
Base	B	:	600	[mm]	
Altezza	H	:	400	[mm]	
Spessore	t	:	12.2	[mm]	
Spessore	s	:	10.0	[mm]	
Base	b	:	345	[mm]	
Peso	$\gamma$	:	86.7	[kg/m]	
Peso Paratia	$\gamma$	:	144.0	[kg/m <sup>2</sup> ]	
Modulo di resistenza	$W_y$	:	2030	[cm <sup>3</sup> m]	
Momento di inerzia	$I_y$	:	42550	[cm <sup>4</sup> m]	

Per maggiori informazioni si rimanda alle tavole grafiche dedicate.



**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>8</b>

**5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

Di seguito si riportano i parametri di resistenza e deformabilità, la stratigrafia e la falda di progetto.

**Tabella 5.1 – Parametri geotecnici di progetto**

Unità geotecnica	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	Eop [MPa]
ba3 – Argille limose	19.5	5	25	24
SSR – Sabbie/Sabbie limose	19.5	0	35	100

**Tabella 5.2 –Stratigrafia e falda di progetto**

Unità geotecnica	Profondità [m]	Falda [m da p.c.]
ba3 – Argille limose	Da 0m a 2.5m	5
SSR – Sabbie/Sabbie limose	Da 2.5m a 30m	

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>9</b>

## 6. ANALISI DEI CARICHI

### 6.1 SPINTA DELLE TERRE

Le spinte delle terre vengono calcolate automaticamente dal software plaxis mediante i criteri di seguito riportati.

L'opera è realizzata in diverse fasi, nella prima fase si esegue la rimozione dello strato superficiale di terreno fino ad arrivare alla quota testa paratia. La seconda fase sussiste nell'infissione della palancola metallica, nella terza fase si realizzano i pali e il jet grouting (dove previsto), nella quarta fase si esegue lo scavo fino a quota di imposta magrone plinto, è in questa fase che l'opera provvisoria entra effettivamente in esercizio, nella quinta fase si realizza il plinto di fondazione e si esegue il rinterro, nella sesta fase si sfilano le palancole.

La combinazione considerata è la sola combinazione agli stati limite ultimi (SLU), trattandosi di verifiche di opere provvisorie. Le tabelle seguenti riportano i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno, da utilizzare per i vari approcci considerati.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_f$	1,0	1,0

Coefficienti parziali da applicare alle resistenze caratteristiche dei pali, da utilizzare:

**Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

I fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali in funzione del numero di verticali indagate sono i seguenti:

**Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.**

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

<sup>(\*)</sup> da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

Per il calcolo della spinta, si adotta un modello di terreno secondo Caquot e Kérisel, in cui la superficie potenziale di scorrimento del terreno è assimilabile ad un arco di spirale logaritmica e non più ad una superficie piana. Sulla scorta di tale modellazione, si riporta di seguito i coefficienti, definiti dagli autori, relativi ai coefficienti di spinta attiva ( $K_a$ ) e passiva ( $K_p$ ) in funzione dell'angolo di resistenza al taglio e del rapporto con l'attrito.

*Tabella 13.5 - Soluzione di Caquot e Kérisel: Coefficienti di spinta  $K_A$  (prima riga) e  $K_P$  (seconda riga) al variare dell'angolo di resistenza al taglio  $\phi'$  e del rapporto  $|\delta/\phi'|$  per terrapieno orizzontale ( $\beta = 0^\circ$ ) e parete verticale ( $\lambda = 0^\circ$ )*

$\phi'$	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
$\left  \frac{\delta}{\phi'} \right  = 1$	0,81 1,26	0,65 1,66	0,53 2,20	0,44 3,04	0,37 4,26	0,31 6,56	0,26 10,7	0,22 18,2	0,19 35,0	0,16 75,0
$\left  \frac{\delta}{\phi'} \right  = \frac{2}{3}$	0,81 1,24	0,66 1,59	0,54 2,06	0,44 2,72	0,36 3,61	0,30 5,25	0,25 8,00	0,20 12,8	0,16 21,0	0,13 41,0
$\left  \frac{\delta}{\phi'} \right  = \frac{1}{3}$	0,82 1,22	0,67 1,52	0,56 1,89	0,45 2,38	0,37 3,03	0,30 4,02	0,25 5,55	0,20 8,10	0,16 12,0	0,13 19,0
$\left  \frac{\delta}{\phi'} \right  = 0$	0,84 1,19	0,70 1,42	0,59 1,70	0,49 2,04	0,41 2,46	0,33 3,00	0,27 3,70	0,22 4,60	0,17 5,80	0,13 7,50

## 6.2 SOVRACCARICHI

A tergo degli scavi, viene considerato sempre un carico accidentale pari a 20 kN/m<sup>2</sup>, tale carico simula i mezzi d'opera presente durante le varie fasi di lavorazione.

$$Q_1 = 20.00 \quad \text{kN/m}^2$$

## 6.3 AZIONI SISMICHE

Come previsto dalle NTC 2008 §2.4.1, le verifiche sismiche vengono omesse in quanto le opere in oggetto risultano provvisorie ( $T_r < 2$ anni).

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

## 7. CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) e le analisi relative alle condizioni di esercizio (SLE) sono state effettuate nel rispetto dei criteri delle NTC2008.

In generale, le analisi degli stati limite di esercizio (SLE) sono utilizzate per ottenere informazioni circa gli spostamenti attesi sotto i carichi di esercizio e per verificarne l'ammissibilità nei confronti della funzionalità dell'opera.

Le analisi agli stati limite ultimi (SLU) sono impiegate per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali e per le verifiche geotecniche.

### 7.1 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, ovvero:

$$E_d = E \left( \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

$$E_d = \gamma_E E \left( F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right)$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$ , e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left( \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right),$$

effetto delle azioni e resistenza sono espressi in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto  $a_d$ .

L'effetto delle azioni può anche essere valutato direttamente come  $E_d = \gamma_E E_k$ . Nella formulazione delle resistenze  $R_d$ , compare esplicitamente un coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulle resistenze del sistema.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito degli approcci previsti dalla normativa.

### 7.2 APPROCCIO PROGETTUALE ALLO SLU

Le verifiche sono state sviluppate adottando per gli stati limite ultimi (SLU) di tipo strutturale (STR) e geotecnico (GEO):

- Approccio 1, Combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE &amp; S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

- Approccio 1, Combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO).

I coefficienti parziali per le azioni (A), per i parametri geotecnici del terreno (M) e per le resistenze (R) sono in accordo alla Tab. 6.2.I, 6.2.II di cui alle NTC 2018. I coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R1 sono posti pari all'unità.

Per quanto riguarda le verifiche dei livelli di vincolo, gli stati limite ultimi si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

### 7.3 APPROCCIO PROGETTUALE ALLO SLE

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. In condizioni di esercizio gli spostamenti dell'opera di sostegno dovranno essere compatibili con la funzionalità. Trattandosi di un'opera provvisoria le verifiche a fessurazione sono omesse.

### 7.4 COMBINAZIONI DELLE AZIONI

In accordo alle NTC2018 si sono considerate le combinazioni delle azioni nel seguito descritte in cui si indica con:

$G$  = azioni permanenti dovute al peso proprio di tutti gli elementi strutturali; peso proprio del terreno; forze indotte dal terreno; forze dovute alla pressione dell'acqua.

$Q_k$  = Azioni variabile corrispondente al sovraccarico di 10 kPa (mezzi di cantiere).

$Q_{k,t}$  = Azioni variabile corrispondente al sovraccarico da treni da 48.80 kPa (per asse)

- Combinazione fondamentale impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot Q_k$$

- Combinazione caratteristica (rara) impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE):

$$G + Q_k$$

Per le verifiche di resistenza allo stato limite ultimo si adotta l'approccio 1 previsto dalla normativa. Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Azioni ( $\gamma_F$ )		Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )
Permanenti	Variabili	

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	13

sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli	$\tan \varphi'$	$c'$	cu
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

**Tabella 3 Combinazioni per analisi statiche in esercizio SLE**

	Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
	Permanenti		Variabili				
	sfavorevoli	favorevoli	sfavorevoli	favorevoli	$\tan \varphi'$	$c'$	cu
STRU (A1 + M1)	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
GEO (A2 + M2)	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

**Tabella 4 Combinazioni per analisi statiche SLU**

MANDATARIA  MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IV02 - Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
<b>LI0B</b>		<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	14

## 8. DIMENSIONAMENTO PARATIA

### 8.1 METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI GENERALI

In relazione alla complessità dei rapporti intercorrenti tra la struttura oggetto di studio ed i terreni del sito, nonché in relazione le diverse condizioni di carico e al contorno, si è ritenuto opportuno l'utilizzo del metodo calcolo agli elementi finiti (F.E.M). Il software utilizzato (PLAXIS, versione 8, 2002, Delft University of Technology) è un codice di calcolo bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati. La sua caratteristica peculiare è di utilizzare materiali con caratteristiche elastoplastiche, seguendo passo passo gli incrementi di carico (fino a grandi deformazioni, nel qual caso è possibile aggiornare la griglia di calcolo) utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, o altri criteri, quale Drucker-Prager, CAM CLAY modificato, etc. Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti non strutturati di forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento, essendo polinomi del 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti. All'interno di ogni passo di carico il programma perviene all'equilibrio attraverso una serie di iterazioni sfruttando la matrice di rigidità iniziale (metodo di Newton-Raphson modificato). Il controllo della convergenza, al termine della i-esima iterazione viene effettuato attraverso il controllo dell'errore della i-esima iterazione, errore rappresentato dal rapporto tra la norma del vettore costituito dalle forze nodali non bilanciate e la norma del vettore dei carichi nodali equivalenti relativo al livello finale di carico del passo in esame.

PLAXIS permette di mettere in conto la presenza di elementi strutturali piani del tipo "plate", "anchors"; e "geogrids" resistenti solo a trazione, di considerare la presenza di molle elastoplastiche, diversi gradi di svincolamento, e di ridurre le caratteristiche meccaniche del terreno a contatto con elementi di diversa natura ("Interfaces"). In conto ai processi di consolidazione, è data la possibilità di introdurre dreni e "well point" in varie direzioni; mentre per ciò che concerne le azioni esterne risultano realizzabili sistemi di cedimenti impressi, analisi statiche complesse (azioni distribuite e concentrate con complesse disposizioni), ed analisi pseudo-statiche referenti ad azioni sismiche in direzioni sia verticali che orizzontali.

In particolare, la versione utilizzata ha permesso l'analisi per passi esecutivi dell'opera in condizioni piane di deformazione; a tale scopo sono state effettuate le modellazioni, il calcolo e le verifiche, su sezioni significative della struttura in oggetto, scelte in base alla geometria che rappresenti esattamente lo stato piano di tensioni e di deformazioni.

L'analisi F.E.M. consente di definire i diagrammi di spinta agenti sulle strutture e di valutare le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione per quest'ultime tenendo conto dell'interazione terreno-struttura.

I risultati del modello sono stati impiegati per:

- le verifiche di stabilità globale dell'insieme paratia-terreno per tutte le tipologie strutturali (metodologia  $\phi$ -c reduction);
- il dimensionamento delle sezioni delle opere interrato mediante le sollecitazioni ricavate dal modello;
- la valutazione dei movimenti caratterizzanti l'opera durante il suo regolare esercizio e nelle condizioni ultime.

MANDATARIA  MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IV02 - Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>	REV <b>C</b>

## 8.2 VERIFICA SLE

La verifica nei confronti degli Stati limite di esercizio consiste nel controllare, con riferimento alle sollecitazioni di calcolo corrispondenti alle Combinazioni di Esercizio, il tasso di lavoro nei materiali e l'ampiezza delle fessure attese, secondo quanto di seguito specificato.

Trattandosi di opere provvisionali, in accordo con quanto riportato al par. 2.2.3 "Verifiche" delle NTC2008 avremo che "Le verifiche di sicurezza delle opere devono essere contenute nei documenti di progetto, con riferimento alle prescritte caratteristiche meccaniche dei materiali e alla caratterizzazione geotecnica del terreno, dedotta in base a specifiche indagini. La struttura deve essere verificata nelle fasi intermedie, tenuto conto del processo costruttivo; le verifiche per queste situazioni transitorie sono generalmente condotte nei confronti dei soli stati limite ultimi".

Trattandosi di manufatti per opere provvisionali, tali verifiche agli stati limite di esercizio possono essere omesse per il calcolo.

## 8.3 VERIFICA SLU

### 8.3.1 Verifiche di resistenza degli elementi strutturali (STR)

Si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali. L'analisi può essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1. In questo caso, i coefficienti parziali amplificativi delle azioni possono applicarsi direttamente alle sollecitazioni, calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze. Quindi i risultati dell'analisi STRU (A1+M1), possono essere cautelativamente ottenuti moltiplicando quelli dell'analisi SLE x 1.4. Si è verificato che tale modo di procedere, oltre che essere ingegneristicamente più corretto, porta a risultati in linea al metodo che prevede l'amplificazione delle azioni (peso di volume del terreno x 1.3 e azioni accidentali x 1.5), ed in ogni caso cautelativi ai fini delle verifiche di resistenza.

### 8.3.2 Verifiche stabilità geotecnica (GEO)

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico delle paratie (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e, specificamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia. L'analisi può essere condotta con la Combinazione 2 (A2+M2+R1), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti  $\gamma_R$  sulla resistenza globale (R1) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza il valore di progetto della spinta attiva è maggiore, e quello della resistenza passiva è minore, dei corrispondenti valori caratteristici. Le azioni di progetto Ed sono le risultanti o i momenti risultanti delle forze sulla paratia che producono il cinematismo di collasso ipotizzato, mentre le resistenze di progetto Rd sono le risultanti o i momenti risultanti delle forze che vi si oppongono.

In definitiva le analisi contemplano le seguenti combinazioni di carico.

- SLU (STRU)** per le verifiche di resistenza degli elementi strutturali.  
**SLU (GEO)** per le verifiche di stabilità geotecnica.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

### 8.3.3 VERIFICHE PALANCOLE METALLICHE

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).

Le azioni interne allo stato limite ultimo,  $N_{Ed}$ ,  $M_{Ed}$  and  $V_{Ed}$ , sono ottenute come in precedenza.

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

$\beta_B$  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:

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

dove:

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

Data l'azione 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:

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

dove:

$k = 1.33$  per palancole ad U

$k = 1.11$  per palancole a Z

### 8.4 VERIFICA DELLE TRAVI DI RIPARTIZIONE

La trave di ripartizione in c.a. è stata verificata agli SLU nei confronti dei meccanismi di flessione e taglio.

Il momento ed il taglio di progetto sono stati calcolati mediante le relazioni che seguono considerando come carico agente la reazione a metro lineare ottenuta dal Plaxis.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	17

$$M_{Ed} = \frac{pl^2}{10}$$

$$V_{Ed} = \frac{pl}{2}$$

**8.5 VERIFICA DELLE SEZIONI IN ACCIAIO DI CARPENTERIA METALLICA**

La verifica delle sezioni in acciaio 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.-08 - D.M. 14 gennaio 2008, adottando per il materiale S355 una tensione caratteristica di snervamento  $f_{yk} = 355$  MPa – par. 11.3.4 – Acciai per Strutture Metalliche e per Strutture Composte - N.T.C.-08 - D.M. 14 gennaio 2008.

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

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

per sola azione assiale;

$$M_{c,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \geq M_{Ed}$$

per solo momento flettente;

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yd} / \sqrt{3} \geq V_{Ed}$$

per solo taglio;

$$M_{y,V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_{yd} \geq M_{Ed}$$

per momento flettente e taglio, per profilati ad I e ad H;

$$M_{y,V,Rd} = M_{c,Rd} \cdot (1 - \rho) \geq M_{Ed}$$

per momento flettente e taglio, per altri profilati;

$$M_{N,y,Rd} = M_{c,Rd} \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a) \geq M_{Ed}$$

presso-tenso-flessione, per profilati ad I, ad H e a U;

$$M_{y,V,N,Rd} = M_{c,Rd} \cdot (1 - \rho) \cdot (1 - n) / (1 - 0.5 \cdot a) \geq M_{Ed}$$

presso-tenso-flessione e taglio, per profilati ad I, ad H e a U;

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  $V_{Ed} > 0.5 \cdot V_{c,Rd}$

$M_{N,y,Rd}$  è il momento resistente per  $n = N_{Ed} / N_{pl,Rd} > \min \left\{ a = \left( A - 2 \cdot b \cdot t_f \right) / A ; 0.5 \right\}$

A è l'area della sezione

$W_{pl}$  è il modulo di resistenza plastico

b è la larghezza del profilato

h è l'altezza del profilato

$t_w$  è lo spessore dell'anima

$t_f$  è lo spessore delle ali

r è il raggio di curvatura

$A_v$  e  $\rho$  sono l'area resistente a taglio e il relativo fattore di riduzione della resistenza a flessione, dati dalle seguenti:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f \quad \text{per i profilati ad I e ad H;}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f \quad \text{per i profilati a C;}$$

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	18

$$A_v = A \cdot h / (b + h) \quad \text{per i profilati rettangolari cavi;}$$

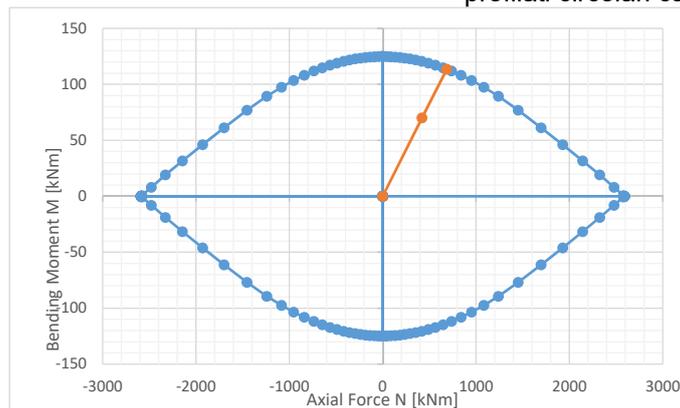
$$A_v = 2 \cdot A / \pi \quad \text{per i profilati circolari cavi;}$$

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

In caso di tubi circolari, le ultime 2 disuguaglianze sopra riportate non sono applicabili. 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.

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

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



**Esempio di determinazione del momento ultimo dal dominio di resistenza per sezioni circolari sottili**

Nel caso di sezioni di classe 3 o 4, la verifica è effettuata in campo elastico, tramite il calcolo della tensione ideale  $\sigma_{id}$ , data dalla seguente:

$$\sigma_{id} = (\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)^{0.5} = \sqrt{\left( \frac{M_{Ed}}{W_{el}} \right)^2 + 3 \left( \frac{T_{Ed}}{A_v} \right)^2} \leq f_{yd}$$

dove  $W_{el}$  è il modulo di resistenza elastico.

La verifica di stabilità delle membrature compresse e presso-inflesse si effettua soddisfacendo le seguenti disequazioni, in accordo alla vigente normativa (cfr. § 4.2.4.1.3 dell' *N.T.C.'08 – Costruzioni in Acciaio – D.M. 14 gennaio 2008* e relative integrazioni § C4.2.4.1.3.2, C4.2.4.1.3.3 della *CIRCOLARE n. 617 del 2 febbraio 2009 – Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*):

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed} \quad \text{stabilità assiale;}$$

$$FS_b = \frac{N_{Ed}}{\chi \cdot f_{yd} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{f_{yd} \cdot W_y \cdot \left( 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \right)} \leq 1 \quad \text{stabilità flessionale per aste presso-inflesse;}$$

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	19

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

stabilità flessio-torsionale per aste  
presso -inflexe

dove:

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

è il fattore di riduzione per la stabilità assiale

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

$\alpha$

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

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

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  $|M_a| \geq |M_b|$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{f \Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \underline{\lambda}_{LT}^2}} \leq \begin{cases} 1.0 \\ 1 / \underline{\lambda}_{LT}^2 \cdot f \end{cases}$$

è il fattore di riduzione per la stabilità flessio-torsionale

$$\Phi_{LT} = 0.5 \left(1 + \alpha_{LT} (\underline{\lambda}_{LT} - \underline{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \underline{\lambda}_{LT}^2\right)$$

$$\underline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yk}}{M_{cr}}}$$

è il coefficiente di snellezza adimensionale

$\alpha_{LT}$

è il fattore di imperfezione

$M_{cr}$

è il momento critico

$\beta$

pari a 1, o pari a 0.75 per sezioni saldate

$$f = 1 - 0.5(1 - k_c) \left(1 - 2.0(\underline{\lambda}_{LT} - 0.8)^2\right)$$

è il fattore della reale distribuzione di momento

$k_c$

è il fattore correttivo

$$W_y = \begin{cases} W_{y,pl} & \text{per sezioni di classe 1 e 2} \\ W_{y,el} & \text{per sezioni di classe 3} \end{cases}$$

è il modulo di resistenza

### 8.5.1 Pressoflessione

La determinazione della capacità resistente a flessione/pressoflessione della generica sezione, viene effettuata con i criteri di cui al punto 4.1.2.1.2.4 delle NTC08, secondo quanto riportato schematicamente nelle figure seguito, tenendo conto dei valori delle resistenze e deformazioni di calcolo riportate al paragrafo dedicato alle caratteristiche dei materiali.

La verifica delle sezioni viene eseguita secondo il metodo degli stati limite basato sulle seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Calcestruzzo non resistente a trazione;
- Perfetta aderenza acciaio-calcestruzzo.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	20

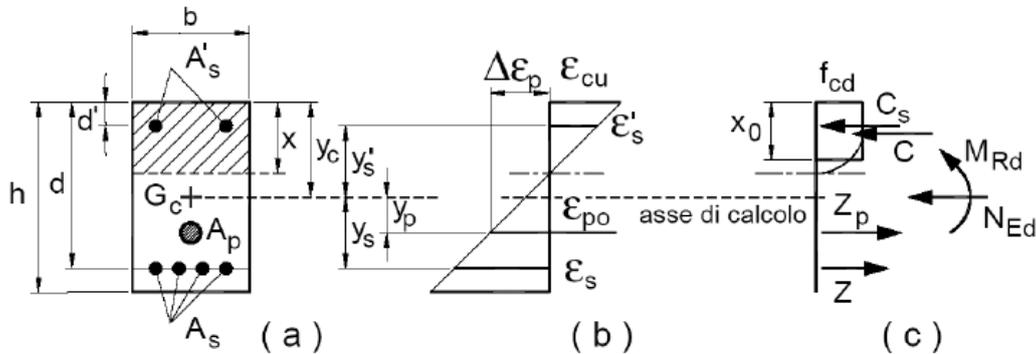


Figura 4. Schema per la valutazione della capacità resistente di una sezione presso-inflessa.

La verifica consisterà nel controllare il soddisfacimento della seguente condizione:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove

- $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;
- $N_{Ed}$  è il valore di calcolo della compressione assiale (sforzo normale) dell'azione;
- $M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione

## 8.5.2 Taglio

### 8.5.2.9 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  della membratura a sezione rettangolare priva di specifiche armature trasversali risulta pari a:

$$V_{Rd} = \left\{ 0,18 \cdot k \cdot \frac{(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

con

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot f_{ck}^{1/2} \cdot k^{3/2}$$

e dove

- $d$  è l'altezza utile della sezione in [mm];
- $\rho_l = A_{sl}/(b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale ( $\leq 0,02$ );
- $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 \cdot f_{cd}$ );
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione in [mm]

### 8.5.2.10 Elementi con armature trasversali resistenti a taglio

In presenza di armatura, invece, la resistenza a taglio  $V_{Rd}$  è pari al minimo tra la resistenza di calcolo a "taglio trazione"  $V_{Rsd}$  e la resistenza di calcolo a "taglio compressione"  $V_{Rcd}$ .

$$V_{Rsd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	21

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

essendo  $\theta$  l'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse dell'elemento che deve soddisfare le seguenti limitazioni:

$$1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

e dove si è posto:

$A_{sw}$  area dell'armatura trasversale;

$s$  interasse tra due armature trasversali consecutive;

$\alpha$  angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse dell'elemento;

$f'_{cd}$  resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );

$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	1	per membrane non compresse
		$1 + \sigma_{cp} / f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$
		1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < 0,5 f_{cd}$
		$2,5 \cdot (1 - \sigma_{cp} / f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} \leq \sigma_{cp} < f_{cd}$

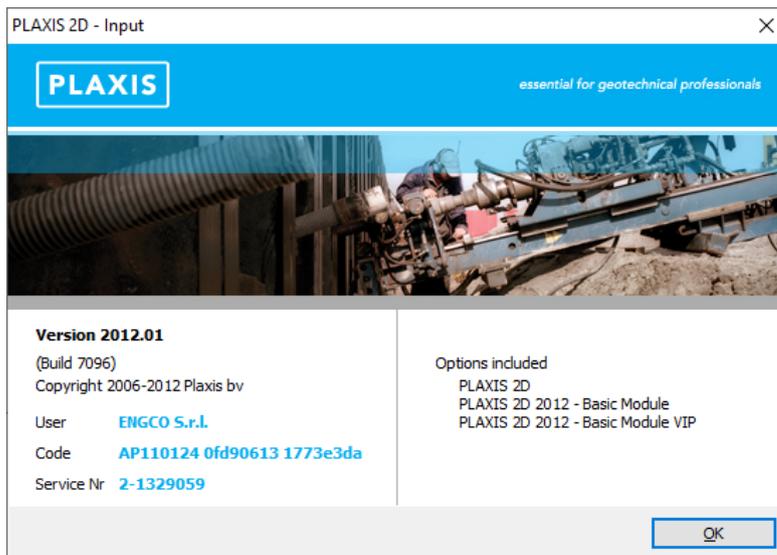
MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

## 9. ANALISI DELLE OPERE

### 9.1 VERIFICA DELLA PARATIA

#### 9.1.1 Modello di calcolo

il calcolo è stato eseguito utilizzando il software Plaxis.



Nelle immagini che seguono si riportano il modello adottato, i carichi e le condizioni al contorno.

Le caratteristiche dei terreni e degli elementi strutturali sono:

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	23

<b>Material set</b>			
Identification number		1	2
Identification		SSR	ba2
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained
Colour		RGB 232, 223, 161	RGB 161, 226, 232
Comments			
<b>General properties</b>			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,50	19,50
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20,50	20,50
<b>Advanced</b>			
<b>Void ratio</b>			
Dilatancy cut-off		No	No
$e_{init}$		0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0
<b>Damping</b>			
Rayleigh $\alpha$		0,000	0,000
Rayleigh $\beta$		0,000	0,000
<b>Stiffness</b>			
E	kN/m <sup>2</sup>	100,0E3	24,00E3
$\nu$ (nu)		0,3000	0,3000
<b>Alternatives</b>			
G	kN/m <sup>2</sup>	38,46E3	9231
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	134,6E3	32,31E3
<b>Strength</b>			
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0,000	5,000
$\phi$ (phi)	°	35,00	25,00
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000
<b>Velocities</b>			
$V_s$	m/s	139,0	68,11
$V_p$	m/s	260,1	127,4

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	24

Identification		SSR	ba2
<b>Advanced</b>			
Set to default values		Yes	Yes
<b>Stiffness</b>			
$E_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$Y_{ref}$	m	0,000	0,000
<b>Strength</b>			
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$Y_{ref}$	m	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength		kN/m <sup>2</sup>	0,000
<b>Strength</b>			
Strength		Rigid	Rigid
$R_{inter}$		1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes
<b>Real interface thickness</b>			
$\delta_{inter}$		0,000	0,000
<b>K0 settings</b>			
$K_0$ determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,4264	0,5774
<b>Model</b>			
Data set		Standard	Standard
<b>Soil</b>			
Type		Coarse	Coarse
< 2 $\mu$ m	%	10,00	10,00
2 $\mu$ m - 50 $\mu$ m	%	13,00	13,00
50 $\mu$ m - 2 mm	%	77,00	77,00
<b>Parameters</b>			
Set to default values		No	No
$k_x$	m/day	0,000	0,000
$k_y$	m/day	0,000	0,000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3
$e_{init}$		0,5000	0,5000
<b>Change of permeability</b>			
$c_k$		1,000E15	1,000E15

MANDATARIA  MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IV02 - Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>	REV <b>C</b>

#### 9.1.1.9 Descrizione del codice di calcolo utilizzato

Metodo agli elementi finiti (F.E.M.) per l'analisi dell'interazione terreno-struttura in condizioni statiche e sismiche

In relazione alla complessità dei rapporti intercorrenti tra la composita struttura oggetto di studio ed i terreni del sito, nonché in relazione le diverse condizioni di carico e al contorno, si è ritenuto opportuno l'utilizzo del metodo calcolo agli elementi finiti (F.E.M). Il software utilizzato (PLAXIS, versione 8, 2002, Delft University of Technology) è un codice di calcolo bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento elastoplastico del terreno seguendo contemporaneamente, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e degli elementi strutturali collegati. La sua caratteristica peculiare è di utilizzare materiali con caratteristiche elastoplastiche, seguendo passo passo gli incrementi di carico (fino a grandi deformazioni, nel qual caso è possibile aggiornare la griglia di calcolo) utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, o altri criteri, quale Drucker-Prager, CAM CLAY modificato, etc. Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti non strutturati di forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento, essendo polinomi del 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti. All'interno di ogni passo di carico il programma perviene all'equilibrio attraverso una serie di iterazioni sfruttando la matrice di rigidità iniziale (metodo di Newton-Raphson modificato). Il controllo della convergenza, al termine della i-esima iterazione viene effettuato attraverso il controllo dell'errore della i-esima iterazione, errore rappresentato dal rapporto tra la norma del vettore costituito dalle forze nodali non bilanciate e la norma del vettore dei carichi nodali equivalenti relativo al livello finale di carico del passo in esame.

PLAXIS permette di mettere in conto la presenza di elementi strutturali piani del tipo "plate", "anchors"; e "geogrids" resistenti solo a trazione, di considerare la presenza di molle elastoplastiche, diversi gradi di svincolamento, e di ridurre le caratteristiche meccaniche del terreno a contatto con elementi di diversa natura ("Interfaces"). In conto ai processi di consolidazione, è data la possibilità di introdurre dreni e "well point" in varie direzioni; mentre per ciò che concerne le azioni esterne risultano realizzabili sistemi di cedimenti impressi, analisi statiche complesse (azioni distribuite e concentrate con complesse disposizioni), ed analisi pseudo-statiche referenti ad azioni sismiche in direzioni sia verticali che orizzontali.

In particolare la versione utilizzata ha permesso l'analisi per passi esecutivi dell'opera in condizioni piane di deformazione; a tale scopo sono state effettuate le modellazioni, il calcolo e le verifiche, su sezioni significative della struttura in oggetto, scelte in base alla geometria che rappresenti esattamente lo stato piano di tensioni e di deformazioni.

L'analisi F.E.M. consente di definire i diagrammi di spinta agenti sulle strutture e di valutare le caratteristiche di sollecitazione e di deformazione per quest'ultime tenendo conto dell'interazione terreno-struttura.

I risultati del modello sono stati impiegati per:

- le verifiche di stabilità globale dell'insieme muro-terreno per tutte le tipologie strutturali (metodologia  $\phi$ -c reduction);
- il dimensionamento delle sezioni delle opere interrato (setti strutturali, solettoni di fondazione, pali di fondazione, taglioni di fondazione,..) mediante le sollecitazioni ricavate dal modello;
- la valutazione dei movimenti caratterizzanti l'opera durante il suo regolare esercizio e nelle condizioni ultime;
- il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni caratterizzanti il diaframma plastico nelle condizioni di esercizio e nelle condizioni ultime.

Attesa la natura del problema, nel seguito si illustreranno la modellazione adottata ed i risultati ottenuti nell'ipotesi di deformazione piana.

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

9.1.1.10 *Caratteristiche meccaniche degli elementi utilizzati*

Nelle tabelle che seguono si riporta, il calcolo delle caratteristiche geomeccaniche degli elementi adottati.

<b>Material set</b>		
Identification number		1
Identification		Palancole
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
<b>Properties</b>		
Isotropic		Yes
End bearing		No
EA <sub>1</sub>	kN/m	3,870E6
EA <sub>2</sub>	kN/m	3,870E6
EI	kN m <sup>2</sup> /m	149,0E3
d	m	0,6797
w	kN/m/m	1,445
v (nu)		0,000
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	27

Material set		
Identification number		1
Identification		C04 - Anchor Rod
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 0
Material type		Elastic
Properties		
EA	kN	500,0E3
L <sub>spacing</sub>	m	1,000

PALANCOLE		Provvisionali
TIPO	Larsen 605 K	
B =	600	[mm]
H =	420	[mm]
Peso mq=	86.7	[Kg/m]
γ=	78.50	[KN/m <sup>3</sup> ]
I=	42550	[cm <sup>4</sup> /m]
	4.26E-04	[m <sup>4</sup> /m]
W =	2030	[cm <sup>3</sup> /m]
	2.03E-03	[m <sup>3</sup> /m]
A=	1.10E-02	[m <sup>2</sup> ]
E=	210000	[MPa]
	2.10E+08	[kN/m <sup>2</sup> ]
EA =	2.32E+06	[KN/ml]
EI =	8.94E+04	[KN/m <sup>2</sup> ]
w=	0.867	[KN/m]
interasse =	0.6	[m]
n./ml =	1.67	
EA =	3.87E+06	[KN/ml]
EI =	1.49E+05	[KN/m <sup>2</sup> /ml]
w =	1.445	[KN/m/ml]

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>28</b>

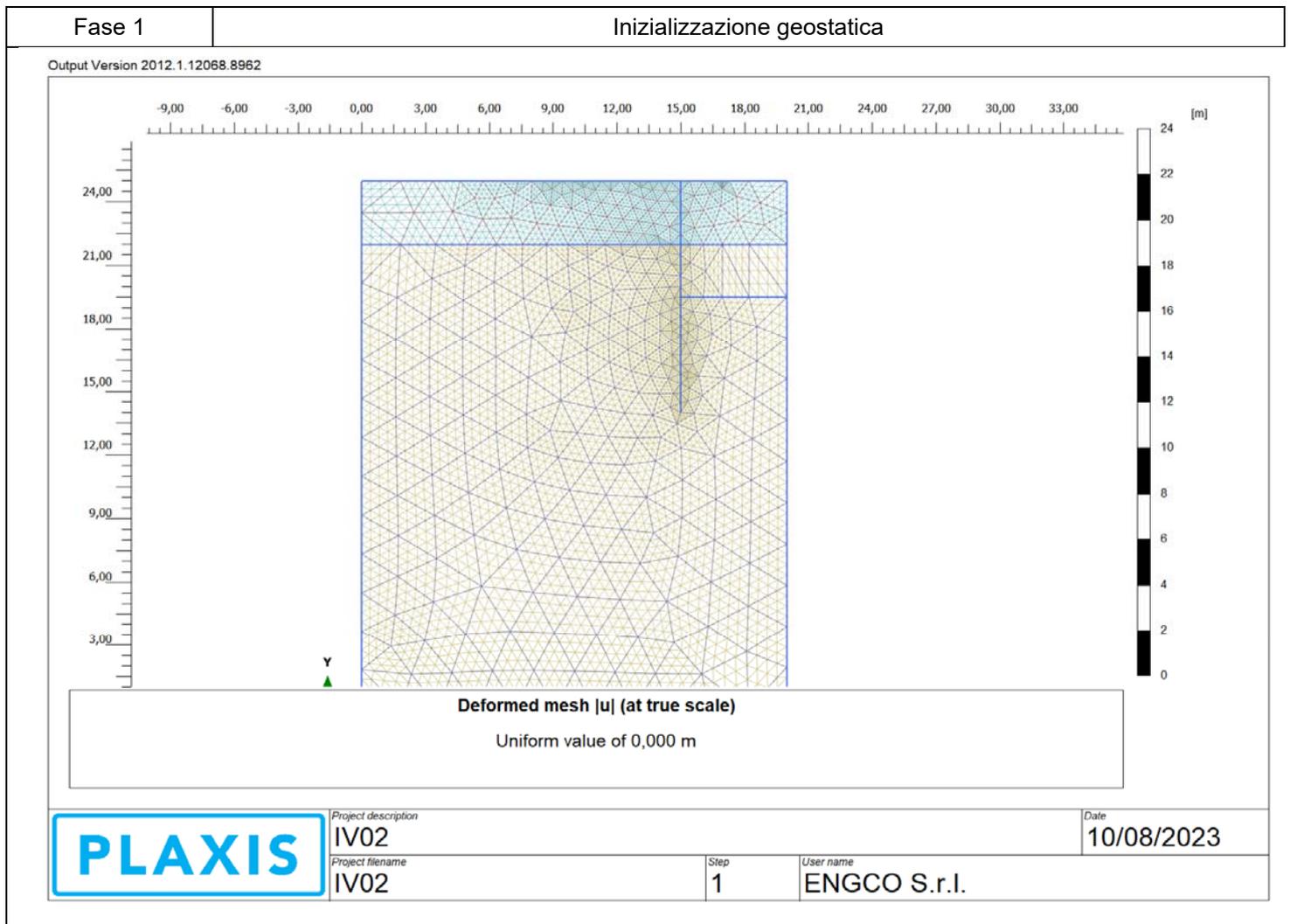
**10. VERIFICHE**

**10.1 SEZIONE 1**

Di seguito si riportano le fasi di calcolo per la sezione analizzata ed anche le figure delle varie fasi di input.

Il problema è simmetrico, all'interno del modello si considera un solo lato della paratia.

Fase n.	Lavorazioni previste
---------	----------------------

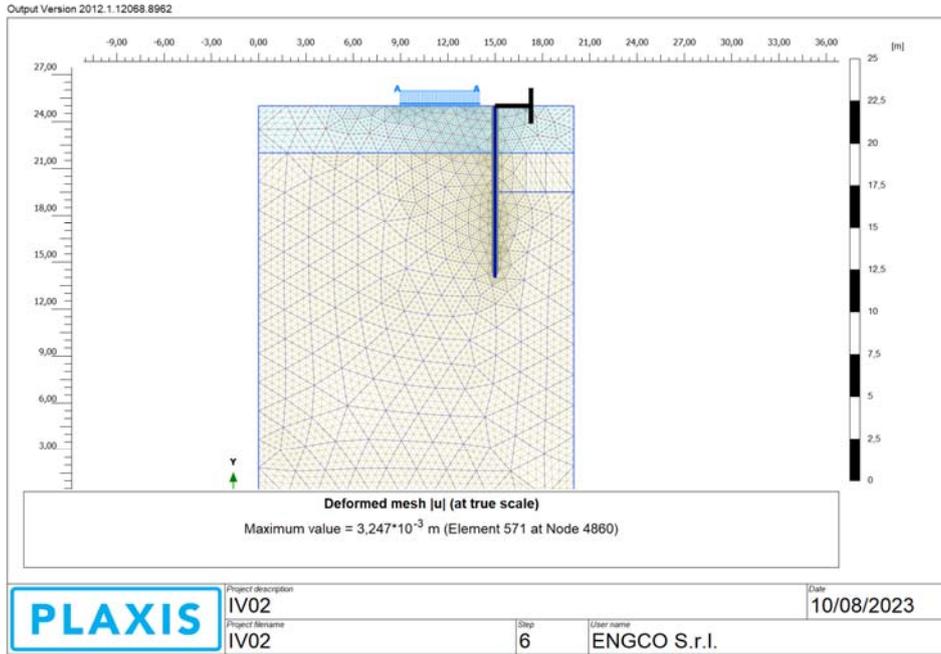


**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>29</b>

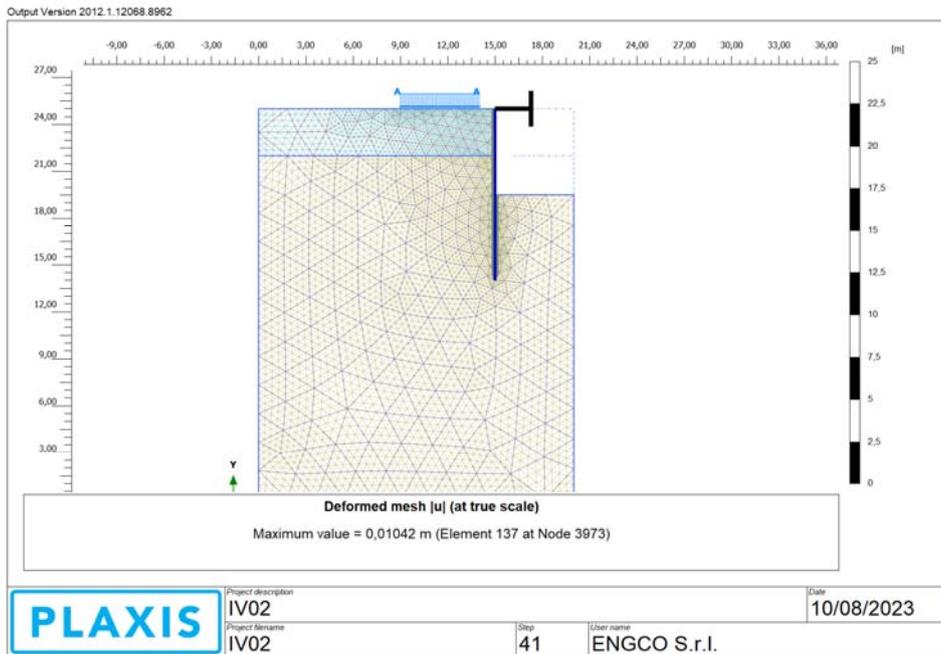
Fase 2

Realizzazione delle paratie dei cordoli e puntoni



Fase 3

Scavo massimo fino alla profondità massima di 5.5 m da testa paratia;



MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

### 10.1.1 VERIFICA GEO

In conformità alla normativa vigente vengono svolte anche analisi abbattendo i parametri di resistenza come dettagliatamente esposto nel paragrafo di riferimento (SLU GEO). Considerando i parametri di resistenza del terreno ridotti mediante i coefficienti parziali  $\gamma_M$  previsti per la combinazione M2:

$$c'_d = c' / 1.25;$$

$$c'_u = c_u / 1.40;$$

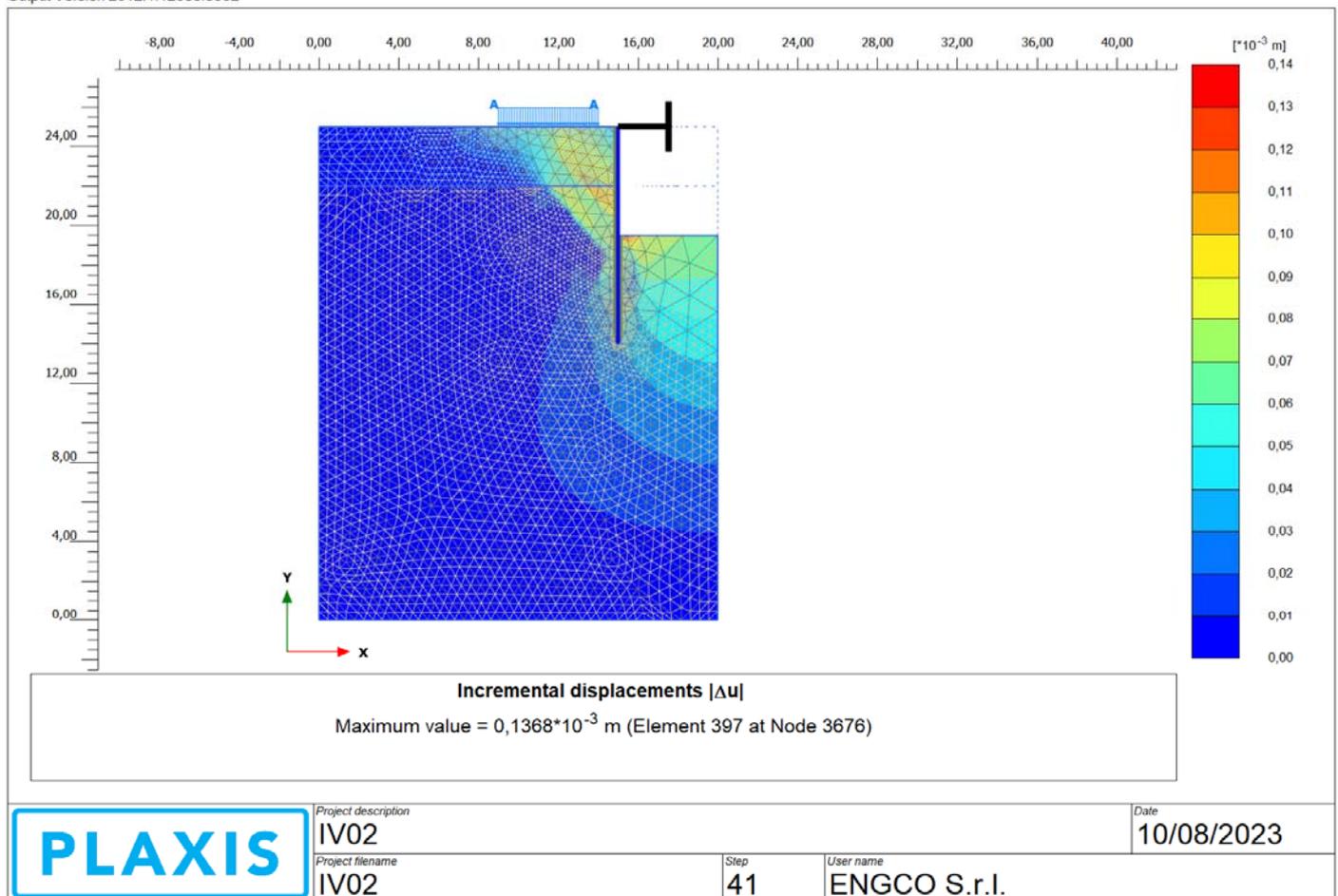
$$\varphi'_d = \arctan (1 / 1.25 \cdot \tan \varphi').$$

Le verifiche di stabilità globale sono state effettuate con la metodologia “ $\varphi$ -c reduction”.

Nell'immagine seguente è riportata la verifica di collasso, il risultato delle verifiche è riportato in termini di stato deformativo nello stato di collasso.

Complesso terreno paratia

Output Version 2012.1.12088.8962



Il coefficiente al collasso è di seguito rappresentato.

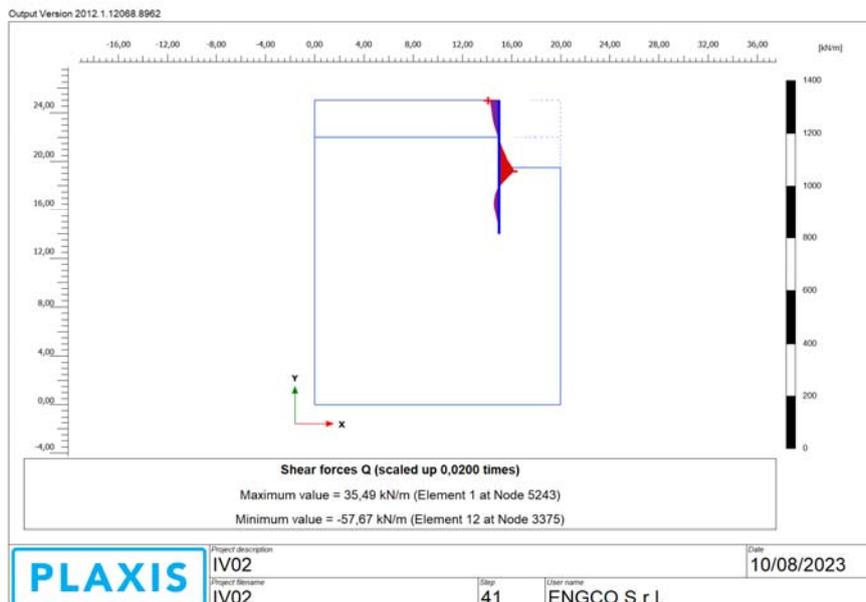
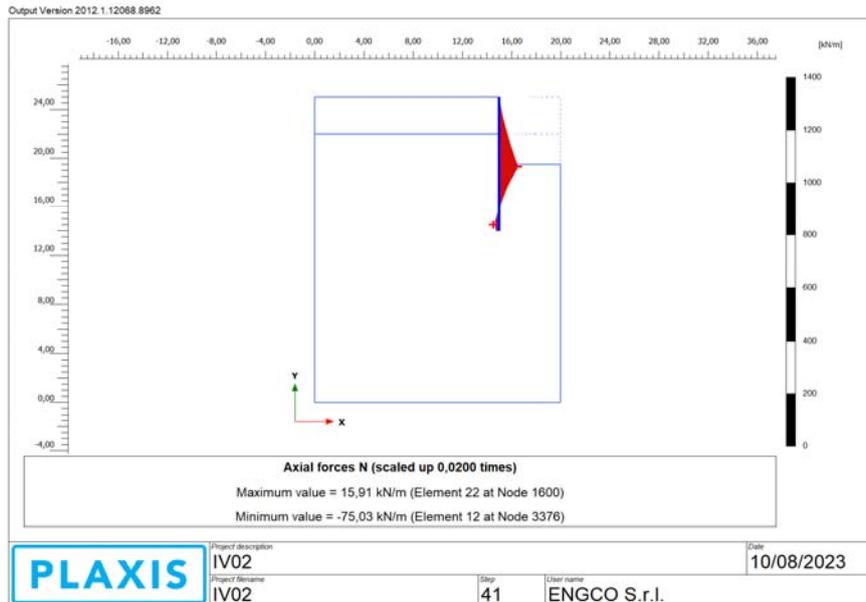
Strength reduction factor	$\Sigma M_{sf}$	2,660E+00
---------------------------	-----------------	-----------

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>31</b>

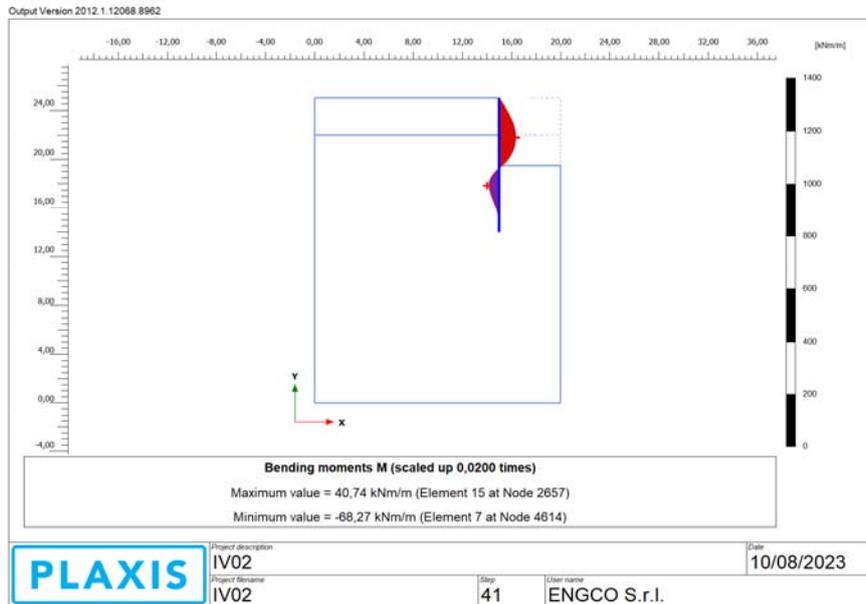
**10.1.2 VERIFICHE STRUTTURALI**

La verifica strutturale delle palancole viene eseguita considerando le azioni massime SLU derivanti dai grafici nel seguito riportati.



**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>32</b>



Sollecitazioni del puntone a metro lineare

Structural element ▲	Node ▲	Local number ▲	X [m] ▲	Y [m] ▲	N [kN/m] ▲
Fixed-end anchor 1-1	5243	1	15,000	25,000	-153,664

MANDATARIA  MANDANTI 	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>										
	<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
<b>LI0B</b>		<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>33</b>

### 10.1.3 VERIFICA PALANCOLATO METALLICO

La verifica della palancola Metallica viene di seguito riportata:

Tipo di profilo	=	Larssen_Hoesch				
Profilo	=	LARSEN 605K				
Callse acciaio						
$f_{yk}$	=	355.00 [N/mm <sup>2</sup> ]	=	355,000.00 [kN/m <sup>2</sup> ]		tensione di snervamento caratteristica
$\gamma_{m,slu}$	=	1.05				fattore parziale
$f_{yd}$	=	338.10 [N/mm <sup>2</sup> ]	=	338,095.24 [kN/m <sup>2</sup> ]		tensine di snervamento di progetto
$N_{ed}$	=	75.03 [kN/m]				axial load
$M_{ed}$	=	68.27 [kN*m/m]				bending moment
$V_{ed}$	=	57.67 [kN/m]				shear
tipo	=	2				
classe	=	U				
$W_{el}$	=	2,030.00 [cm <sup>3</sup> /m]	=	0.002 [m <sup>3</sup> /m]		modulo di resistenza elastico - asse forte
A	=	184.10 [cm <sup>2</sup> /m]	=	0.018 [m <sup>2</sup> /m]		area
$W_{pl}$	=	2,386.00 [cm <sup>3</sup> /m]	=	0.002 [m <sup>3</sup> /m]		modulo di resistenza plastico - asse forte
$A_v$	=	68.00 [cm <sup>2</sup> /m]	=	0.007 [m <sup>2</sup> /m]		area resistenza a taglio
b	=	600.00 [mm]	=	0.600 [m]		larghezza
h	=	420.00 [mm]	=	0.420 [m]		altezza
$t_w$	=	10.00 [mm]	=	0.010 [m]		spessore anima
$t_t$	=	12.20 [mm]	=	0.012 [m]		spessore ali
$\alpha$	=	66.00 [deg]				inclinazione dell'anima
$\beta_B$	=	1.00				coefficiente riduttivo

Azioni di Progetto			Resistenze di Progetto			Verifiche		
$F_{ed}$			$R_d$			Fattore di Sicurezza		
$N_{ed}$	$M_{ed}$	$V_{ed}$	$N_{Rd}$	$M_{Rd}$	$V_{Rd}$	$N_{ed}/N_{Rd} < 1$	$M_{ed}/M_{Rd} < 1$	$V_{ed}/V_{Rd} < 1$
[kN/m]	[kN*m/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN*m/m]	[kN/m]	[-]	[-]	[-]
75.03	68.27	57.67	6,224.33	806.70	1,327.36	0.01	0.08	0.04

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

## 10.1.4 Verifica dei puntone

### 10.1.4.9 Sezione 1

I puntone sono verificati in accordo alla metodologia riportata nel paragrafo precedente.

L'azione di calcolo assiale sul singolo puntone è stata determinata a partire dalla reazione al metro ottenuta dal Plaxis. Tale reazione è stata quindi moltiplicata per la lunghezza di influenza del puntone e poi proiettata lungo l'asse di quest'ultimo nelle modalità esposte nella figura seguente, dove  $F$  rappresenta la reazione a metro, indicata con  $p_{SLU}$  nelle tabelle a seguire.

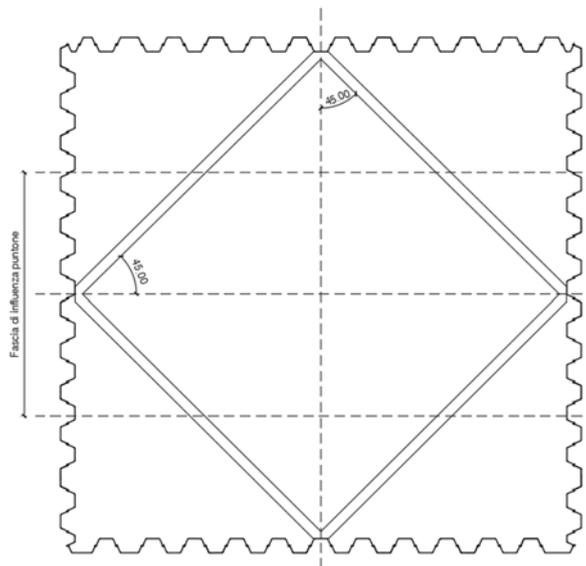


Figura 5: schema di calcolo azione assiale puntone

Il momento flettente e il taglio di calcolo non sono valutati, essi derivano dal solo peso proprio del profilato  $\text{Ø}298.5$  sp.20, amplificato per 1.3 allo SLU, secondo lo schema di trave appoggiata agli estremi e quindi trascurabili.

Nella tabella a seguire si riportano le caratteristiche geometriche del profilo tubolare e il calcolo delle azioni di progetto. La lunghezza del puntone è stata assunta pari a 10 m.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>35</b>

$f_{yk}$	=	355.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	tensione di snervamento caratteristica
$\gamma_{m,slu}$	=	1.05		fattore parziale
$f_{yd}$	=	338.10	[N/mm <sup>2</sup> ]	tensine di snervamento di progetto
$L$	=	10.00	[m]	Lunghezza Puntone
$\phi$	=	298.50	[mm]	Diametro puntone
$S_p$	=	10.00	[mm]	spessore puntone
$\alpha$	=	45.00	[°]	Angolo inclinazione puntone
$L_{influenza}$	=	7.00	[m]	Lunghezza Influenza puntone
$N_{ed,Plaxis}$	=	153.66	[kN/m]	axial load Plaxis
$N_{ed,Plaxis}$	=	760.58	[kN/m]	axial load

Tabella 5: geometria e azioni di progetto puntone

Come si evince dai tabulati seguenti, la verifica risulta soddisfatta.

**VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE**

Dati INPUT		Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio		Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 355 H	Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
$f_{yk}$ =	355 [Mpa]	D	T	1	A	I	i	W <sub>el</sub>	W <sub>pl</sub>	M	As	L/1t
$f_{tk}$ =	510 [Mpa]	[mm]	[mm]		[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[m]
		298.5	20.0		174.99	17052.95	9.87	1142.58	1553.91	137.36	0.94	7.28

D = 298.5 [mm]	Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)	$N_{pl,Rd}$ = 5916.22	$N_{ed} / N_{pl,Rd}$ =	
t = 20.0 [mm]				
<b>Lunghezza e vincoli asta</b>	Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)	$N_{c,Rd}$ = 5916.22	$N_{ed} / N_{c,Rd}$ = 0.13	verifica soddisfatta
L = 14.00 [m]	Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)	$M_{c,Rd}$ = 525.37	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd}$ = 0.00	verifica soddisfatta
$\beta$ = 1.00 [-]				
<b>Sollecitazioni agenti</b>	Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)	$V_{c,Rd}$ = 2174.52	$V_{ed} / V_{c,Rd}$ = 0.00	verifica soddisfatta
$N_{ed}$ = -760.58 [kN]	Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)	$M_{N,Rd}$ = 525.37	$M_{ed} / M_{N,Rd}$ = 0.00	verifica soddisfatta
$V_{ed}$ = 0.00 [kN]		Sez. Classe 1-2		
$M_{y,Ed}$ = 0.00 [kNm]	Sez. Classe 3	$ \sigma_{x,Ed} $ =	$f_{yd}$ =	
$\psi$ = 0.00	Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)	$N_{b,Rd}$ = 1512.31	$N_{ed} / N_{b,Rd}$ = 0.50	verifica soddisfatta
	Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)	$\frac{N_{ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{ed}}{N_{cr,z}}\right)} = 0.50$		verifica soddisfatta

TABELLA 6: VERIFICHE PUNSTONE

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	36

**10.1.5 Verifica strutturale della trave di ripartizione in c.a.**

10.1.5.9 Sezione 1

La verifica strutturale della trave di coronamento in c.a. è svolta tramite il software free VCA-SLU, in accordo con la normativa vigente, considerando le sollecitazioni massime derivanti dai calcoli precedentemente esposti. In particolare, nota la sollecitazione a metro sul contrasto sommitale, secondo le metodologie indicate al paragrafo 8.4 si hanno le seguenti sollecitazioni:

R <sub>ck</sub>	=	30.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	tensione cubica caratteristica a 28gg
f <sub>ck</sub>	=	25.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	tensione cilindrica caratteristica a 28gg
γ <sub>m,slu</sub>	=	1.50		fattore parziale
f <sub>cd</sub>	=	14.17	[N/mm <sup>2</sup> ]	tensine caratteristi di progetto
L	=	5.00	[m]	Lunghezza Cordolo
H	=	1.00	[m]	Diamentro puntone
B	=	1.00	[m]	spessore puntone
N <sub>ed,Plaxis</sub>	=	153.66	[kN/m]	axial load Plaxis
M <sub>ed</sub>	=	480.19	[kNm]	Momento sollecitante (q*l <sup>2</sup> /8)
V <sub>ed</sub>	=	384.15	[kNm]	Taglio sollecitante (q*l/2)

Tabella 7: azioni di progetto trave di coronamento

Si prevede un'armatura principale 6+6 Ø24, secondaria 2+2 Ø20, staffe Ø10/10 cm. Verifica a flessione

Figura 6: Verifica armatura trave 100 x 100 cm

M<sub>ed</sub>=480.19 kNm < M<sub>rd</sub>=972.9 kNm. La verifica risulta soddisfatta.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>37</b>

Verifica a taglio

VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO				
<b>CALCESTRUZZO</b>				
Classe di Resistenza		<b>C25/30</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza Cubica caratteristica a compressione	R <sub>ck</sub>	30.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza Cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub>	24.90	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>ck</sub> =0,83R <sub>ck</sub>
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ <sub>c</sub>	1.5	[-]	
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α <sub>cc</sub>	0.85	[-]	
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub>	14.11	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>cd</sub> =f <sub>ck</sub> *α <sub>cc</sub> /γ <sub>c</sub>
<b>ACCIAIO</b>				
Tipologia		<b>B450C</b>	[-]	
Resistenza caratteristica a rottura	f <sub>tk</sub>	540.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza caratteristica a snervamento	f <sub>yk</sub>	450.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ <sub>s</sub>	1.15	[-]	
Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub>	391.30	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>yd</sub> =f <sub>yk</sub> /γ <sub>s</sub>
Modulo elastico longitudinale	E <sub>s</sub>	201,000.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
<b>Geometria della sezione rettangolare</b>				
Altezza	H	100	[cm]	
Base	B	100	[cm]	
Copriferro	c	5	[cm]	
Larghezza minima della Sezione	b <sub>w</sub>	100.00	[cm]	
Altezza utile	d	95.00	[cm]	d=H-c
Area della sezione di cls	A <sub>c</sub>	10,000.00	[cm <sup>2</sup> ]	
<b>Armature longitudinali</b>				
		n. Ferri	φ	A <sub>l</sub>
Armatura Tesa 1°	A <sub>s1</sub>	6	24.00	2,714 [mm <sup>2</sup> ]
Armatura Tesa 2°	A <sub>s2</sub>	-	-	-
Armatura Tesa TOTALE	A <sub>s</sub>	6	24	2,714
Armatura Compresa	A <sub>s'</sub>	6	24.00	2,714 [mm <sup>2</sup> ]
Ferri di Parete	A <sub>sp</sub>	-	-	- [mm <sup>2</sup> ]
Tot Armatura Longitudinale	A <sub>sl,Tot.</sub>	-	-	5,429 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico armatura	A <sub>sl,Tot./A<sub>c</sub></sub>	-	-	0.54% [-]
<b>Sollecitazioni</b>				
Sforzo Normale	N <sub>ed</sub>	-	[KN]	Compressione positivo
Momento flettente	M <sub>y,ed</sub>	-	[KN*m]	
Taglio	V <sub>ed</sub>	384.15	[KN]	
<b>VERIFICA ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO</b>				
4.1.2.3.5.1 Elementi SENZA armature trasversali resistenti a taglio	V <sub>ed</sub>	384.15	[KN]	
Verifica	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>			[4.122 NTC]
V <sub>Rd</sub> = max{(0,18 · k · (100 · ρ <sub>l</sub> · f <sub>ctk</sub> ) <sup>0,33</sup> / γ <sub>c</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> )} · b <sub>w</sub> · d · (v <sub>adm</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ) · b <sub>w</sub> · d				[4.123 NTC]
Altezza utile della sezione	d	950.00	[mm]	
Larghezza minima della sezione	b <sub>w</sub>	1,000.00	[mm]	
Area della Sezione in cls	A <sub>c</sub>	1,000,000.00	[mm <sup>2</sup> ]	
Sforzo normale di compressione	N (compr.)	-	[KN]	
Tensione limite di compressione nella sezione	σ <sub>cp,lim</sub>	2.82	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Tensione media di compressione nella sezione	σ <sub>cp</sub>	< 0,2 f <sub>cd</sub>	ok	
Ingranamento degli inerti	k	1.46	< 2-ok	
Tensione di resistenza minima del cls	v <sub>adm</sub>	0.31		
Area totale Armatura longitudinale TESA	A <sub>sl</sub>	2,714	[mm <sup>2</sup> ]	
Rapporto geometrico arm. long. TESA	ρ <sub>l</sub>	0.00271	< 0,02-ok	
V <sub>Rd1</sub> = 0,18 · k · (100 · ρ <sub>l</sub> · f <sub>ctk</sub> ) <sup>0,33</sup> / γ <sub>c</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> · b <sub>w</sub> · d	V <sub>rd1</sub>	314.44	[KN]	
V <sub>Rd2</sub> = (v <sub>adm</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ) · b <sub>w</sub> · d	V <sub>rd2</sub>	292.35	[KN]	
Taglio resistente	V <sub>rd</sub>	314.44	[KN]	
Tasso di sfruttamento	V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub>	1.22		
Fattore di sicurezza e Rapporto di Verifica	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>	0.82	V <sub>Ed</sub> > V <sub>Rd</sub>	Attenzione: ARMARE A TAGLIO
<b>VERIFICA ELEMENTI ARMATI A TAGLIO CONTRIBUTO DELLE STAFFE</b>				
4.1.2.3.5.2 Elementi CON armature trasversali resistenti al taglio	V <sub>Ed</sub> 100%	384.15	[KN]	
Verifica	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>			[4.1.26 NTC]
<b>La Cotangente è maggiore di 2.50: la crisi è da attribuirsi all'arm. STAFFE</b>				
Altezza utile della sezione	d	950.00	[mm]	
Diametro delle Staffe	Φ <sub>st</sub>	10.00	[mm]	
Numero di bracci	n.b.	2.00	[-]	
Area sezione trasversale armatura a taglio	A <sub>sw</sub>	157.08	[mm <sup>2</sup> ]	
Passo	s	10.00	[mm]	
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	90.00	[°]	
Cotangente di α	ctg(α)	0.00	[-]	
Inclinazione del puntone compresso	θ	45.00	[°]	
Verifica [4.1.25 NTC]	1 ≤ ctg(θ) ≤ 2,5	1.00	ok	
Coefficiente cautelativo	α <sub>c</sub>	1.00	[-]	
Resistenza a compressione ridotta	F <sub>cd</sub> =50%*f <sub>cd</sub>	7.06	[N/mm <sup>2</sup> ]	
V <sub>Rsd</sub> = 0,9 · d · A <sub>sw</sub> / s · f <sub>yd</sub> (ctg(α) + ctg(θ)) · sen(α)	V <sub>Rsd</sub>	5,255.34	[KN]	
V <sub>Rcd</sub> = 0,9 · d · b <sub>w</sub> · α <sub>c</sub> · F <sub>cd</sub> ((ctg(α) + ctg(θ)) / (1 + ctg <sup>2</sup> (θ)))	V <sub>Rcd</sub>	3,016.01	[KN]	
V <sub>Rd</sub> = min (V <sub>Rsd</sub> ; V <sub>Rcd</sub> )	V <sub>Rd</sub> = min (V <sub>Rsd</sub> ; V <sub>Rcd</sub> )	3,016.01	[KN]	
Tasso di sfruttamento	V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub>	0.13	[-]	
Coefficiente di sicurezza ed Esito verifica	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>	7.85	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>	ok

Figura 7: Verifica armatura trave 100 x 100 cm

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	CL	IV	02	0X	001	C	38

**10.1.6 Verifica dei puntoni**

I puntoni sono verificati in accordo alla metodologia riportata nel paragrafo dedicato.

L'azione di calcolo assiale sul singolo puntone è stata determinata a partire dalla reazione al metro ottenuta dal Plaxis. La reazione data da plaxis viene applicata come carico su uno schema di trave continua su 5 appoggi, dove i primi due appoggi simulano l'intersezione della paratia in esame con la sua ortogonale, mentre i tre appoggi centrali stanno a simulare i puntoni, la reazione derivante da questo schema è presa a riferimento per la verifica del puntone.

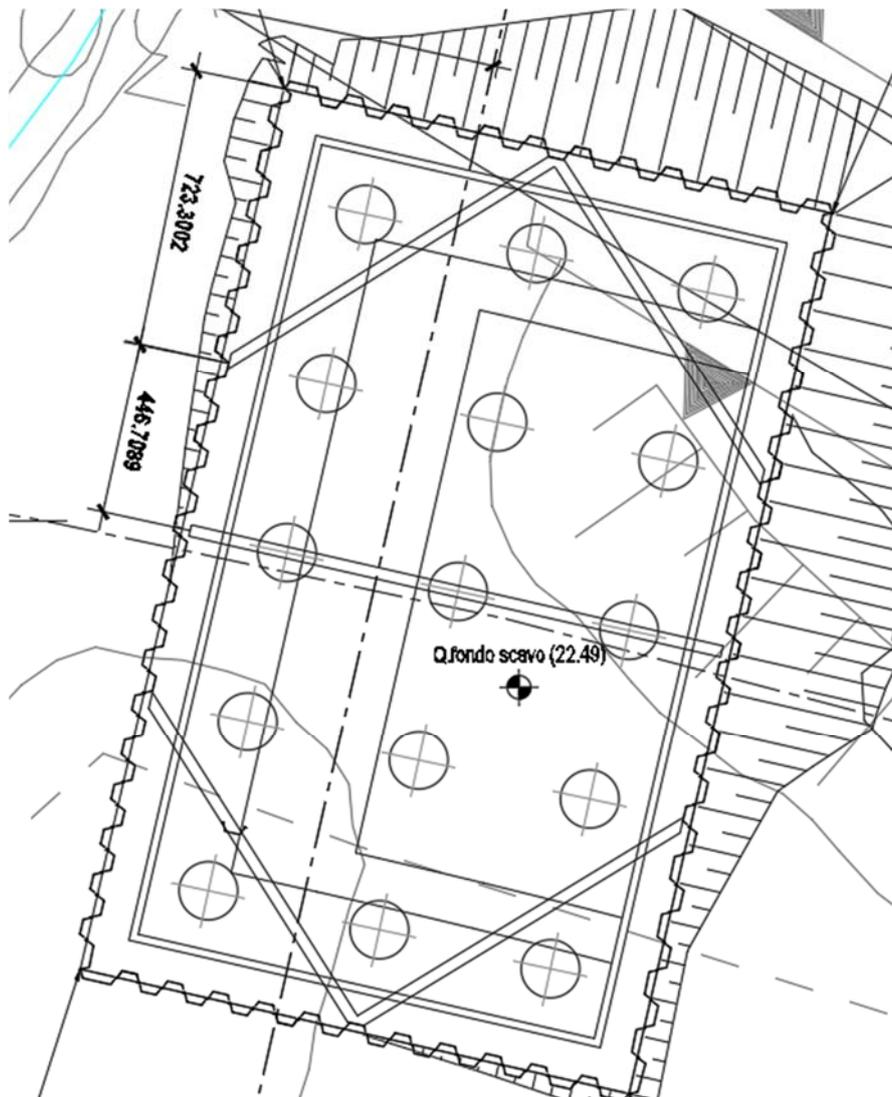


Figura 8: schema di calcolo azione assiale puntone

Il momento flettente e il taglio di calcolo non sono valutati, essi derivano dal solo peso proprio del profilato Ø298.5 sp.20.

Come riportato in figura le luci sono pari a 7.23m per la prima campata e 4.46 per la seconda, il problema risulta simmetrico e con luci uguali per le altre due campate.

La lunghezza del puntone laterale obliquo è di 4.90 m, mentre il puntone centrale è lungo 7.00, nel seguito verranno riportate le verifiche per entrambi.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>39</b>

Schema trave su più appoggi

Reazioni vincolari

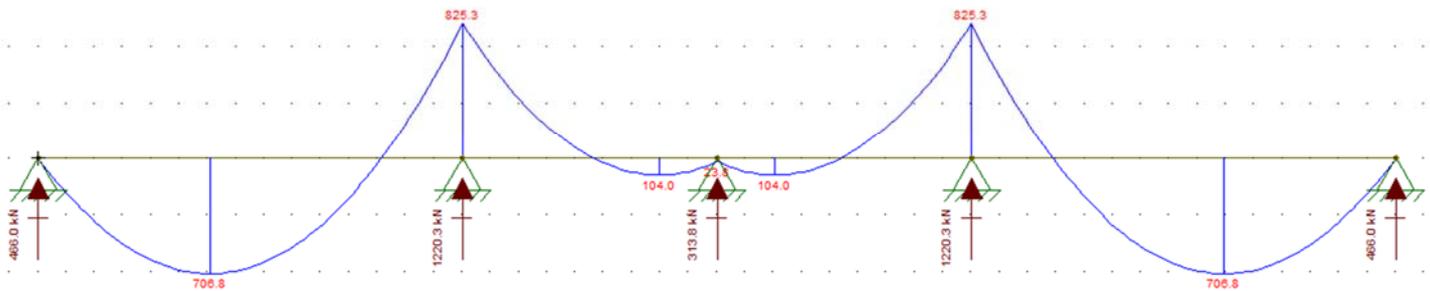


Diagramma del momento

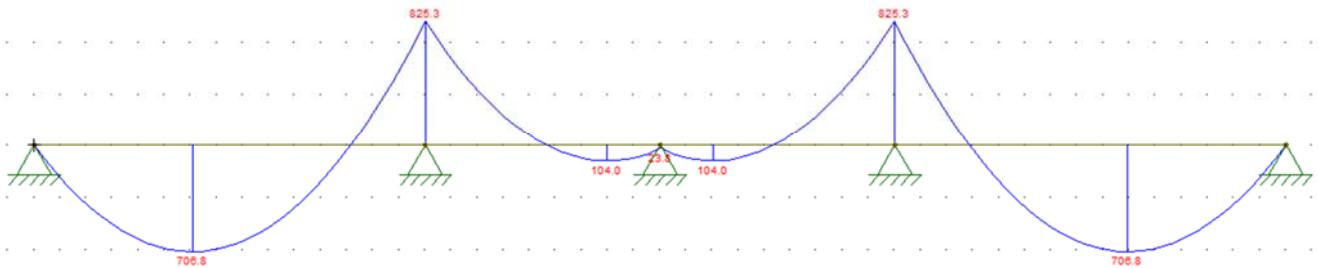
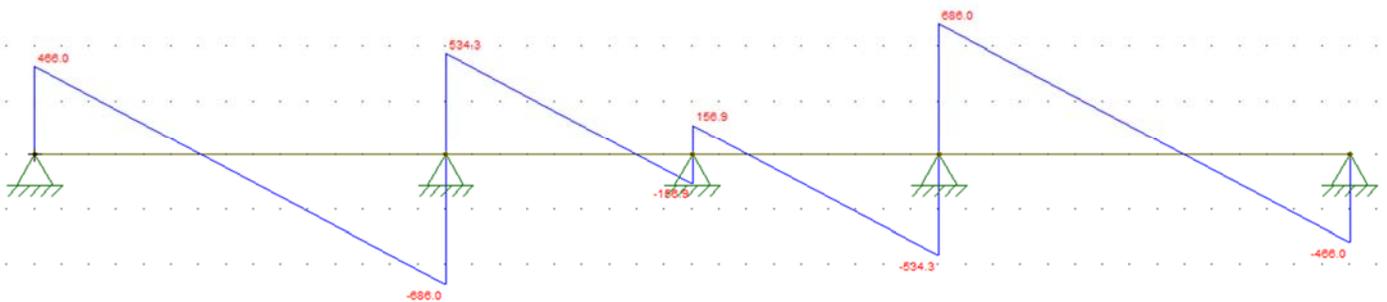


Diagramma del taglio



MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE S.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

Verifica puntone centrale

La sollecitazione per tale elemento è pari a 313.8

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 355 H			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
$f_{yk} =$	355	[Mpa]		D	T	1	A	I	i	W <sub>el</sub>	W <sub>pl</sub>	M	As	L/1t
$f_{tk} =$	510	[Mpa]		[mm]	[mm]		[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[m]
				298.5	20.0		174.99	17052.95	9.87	1142.58	1553.91	137.36	0.94	7.28
D =	298.5	[mm]	Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)				$N_{pl,Rd} =$	5916.22	$N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$					
t =	20.0	[mm]	Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)				$N_{c,Rd} =$	5916.22	$N_{Ed} / N_{c,Rd} = 0.05$					
Lunghezza e vincoli asta			Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)				$M_{c,Rd} =$	525.37	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 0.00$					
L =	7.00	[m]	Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)				$V_{c,Rd} =$	2174.52	$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 0.00$					
$\beta =$	1.00	[-]	Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)				Sez. Classe 1-2	$M_{N,Rd} =$	525.37	$M_{Ed} / M_{N,Rd} = 0.00$				
Sollecitazioni agenti			Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)				$N_{b,Rd} =$	4231.57	$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0.07$					
$N_{Ed} =$	-313.80	[kN]	Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)				$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} = 0.07$							
$V_{Ed} =$	0.00	[kN]												
$M_{y,Ed} =$	0.00	[kNm]	Cresce l'acciaio, cresce il paese.											
$\psi =$	0.00													

TABELLA 8: VERIFICHE PUNTONE centrale

MANDATARIA <b>HUB</b> ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.</small>	MANDANTI <b>HYpro</b>	<b>LINEA PESCARA – BARI</b> <b>RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA</b> <b>LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA</b>									
		<b>IV02 - Relazione di calcolo</b> <b>opere provvisionali</b>	COMMESSA <b>LI0B</b>	LOTTO <b>02</b>	FASE <b>E</b>	ENTE <b>ZZ</b>	TIPO DOC <b>CL</b>	OPERA 7 DISCIPLINA <b>IV 02 0X</b>			PROGR <b>001</b>

Verifica puntone laterale

La sollecitazione per tale elemento è pari  $1220.3 \cdot \text{radq}(2) = 1725.76$

VERIFICHE DI RESISTENZA E STABILITA' PER PROFILI CAVI A SEZIONE CIRCOLARE														
Dati INPUT				Dati OUTPUT										
Caratteristiche acciaio				Dati geometrici										
Qualità acciaio:	UNI EN 10210 S 355 H			Diametro esterno	Spessore	Classe della sezione	Area sezione trasversale	Momento inerzia	Raggio giratore inerzia	Modulo resistente elastico	Modulo resistente plastico	massa per unità di lunghezza	Superf. per unità di lunghezza	Lunghezza per tonnellata
$f_{yk} =$	355	[Mpa]	1	D	T	A	I	i	W <sub>el</sub>	W <sub>pl</sub>	M	As	L/1t	
$f_{tk} =$	510	[Mpa]		[mm]	[mm]	[cm <sup>2</sup> ]	[cm <sup>4</sup> ]	[cm]	[cm <sup>3</sup> ]	[cm <sup>3</sup> ]	[kg/m]	[m <sup>2</sup> /m]	[m]	
				298.5	20.0	174.99	17052.95	9.87	1142.58	1553.91	137.36	0.94	7.28	
D =	298.5	[mm]	Verifica a trazione (4.2.4.1.2.1)					$N_{pl,Rd} =$	5916.22	$N_{Ed} / N_{pl,Rd} =$				
t =	20.0	[mm]	Verifica a compressione (4.2.4.1.2.2)					$N_{c,Rd} =$	5916.22	$N_{Ed} / N_{c,Rd} = 0.29$				
Lunghezza e vincoli asta			Verifica a flessione retta (4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6)					$M_{c,Rd} =$	525.37	$M_{y,Ed} / M_{c,Rd} = 0.00$				
L =	4.90	[m]	Verifica a taglio (4.2.4.1.2.4)					$V_{c,Rd} =$	2174.52	$V_{Ed} / V_{c,Rd} = 0.00$				
$\beta =$	1.00	[-]	Verifica a presso/tenso-flessione retta (4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.9)					Sez. Classe 1-2	$M_{N,Rd} =$	479.10	$M_{Ed} / M_{N,Rd} = 0.00$			
Sollecitazioni agenti			Verifica stabilità membrature compresse (4.2.4.1.3.1)					$N_{b,Rd} =$	5148.08	$N_{Ed} / N_{b,Rd} = 0.34$				
$N_{Ed} =$	-1725.76	[kN]	Verifica stabilità membrature presso-inflesse (4.2.4.1.3.3)					$\frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M1}}{\chi_{min} \cdot f_{yk} \cdot A} + \frac{M_{y,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_y \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right)} + \frac{M_{z,eq,Ed} \cdot \gamma_{M1}}{f_{yk} \cdot W_z \cdot \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)} = 0.34$						
$V_{Ed} =$	0.00	[kN]												
$M_{y,Ed} =$	0.00	[kNm]	<small>Fondazione Promozione Acciaio</small> <small>CRESCE L'ACCIAIO, CRESCE IL PAESE.</small>											
$\psi =$	0.00													

TABELLA 9: VERIFICHE PUNTONE laterale

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>42</b>

**10.1.7 Verifica strutturale della trave di ripartizione in c.a.**

10.1.7.9 Sezione 2

La verifica strutturale della trave di coronamento in c.a. è svolta tramite il software free VCA-SLU, in accordo con la normativa vigente, considerando le sollecitazioni massime derivanti dai calcoli precedentemente esposti.

Le sollecitazioni massime vengono desunte dalle caratteristiche della sollecitazione prima calcolate

$M=825.3$  kNm

$V=1220.3$  kN

Si prevede un'armatura principale 6+6 Ø24, secondaria 2+2 Ø20, staffe Ø10/10 cm.

Verifica a flessione

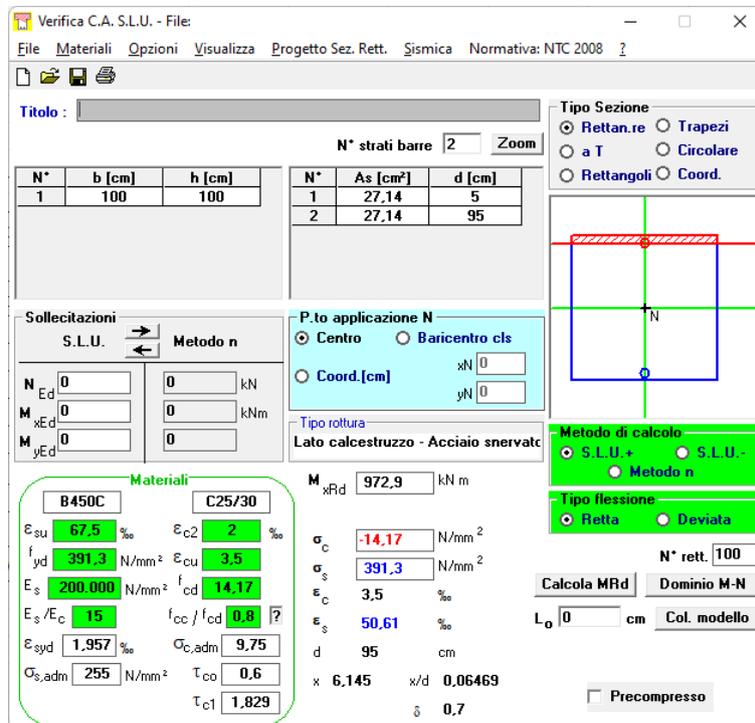


Figura 9: Verifica armatura trave 100 x 100 cm

$M_{ed}=825.3$  kNm <  $M_{rd}=972.9$  kNm. La verifica risulta soddisfatta.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>43</b>

VERIFICA DEGLI ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO				
<b>CALCESTRUZZO</b>				
Classe di Resistenza		<b>C25/30</b>	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza Cubica caratteristica a compressione	R <sub>ck</sub>	30.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza Cilindrica caratteristica a compressione	f <sub>ck</sub>	24.90	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>ck</sub> =0,83R <sub>ck</sub>
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ <sub>c</sub>	1.5	[-]	
Coefficiente che tiene conto degli effetti di lungo termine	α <sub>cc</sub>	0.85	[-]	
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub>	14.11	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>cd</sub> =f <sub>ck</sub> *α <sub>cc</sub> /γ <sub>c</sub>
<b>ACCIAIO</b>				
Tipologia		<b>B450C</b>	[-]	
Resistenza caratteristica a rottura	f <sub>tk</sub>	540.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Resistenza caratteristica a snervamento	f <sub>yk</sub>	450.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	γ <sub>s</sub>	1.15	[-]	
Resistenza di progetto a snervamento	f <sub>yd</sub>	391.30	[N/mm <sup>2</sup> ]	f <sub>yd</sub> =f <sub>yk</sub> /γ <sub>s</sub>
Modulo elastico longitudinale	E <sub>c</sub>	201,000.00	[N/mm <sup>2</sup> ]	
<b>Geometria della sezione rettangolare</b>				
Altezza	H	100	[cm]	
Base	B	100	[cm]	
Copriferro	c	5	[cm]	
Larghezza minima della Sezione	b <sub>w</sub>	100.00	[cm]	
Altezza utile	d	95.00	[cm]	d=H-c
Area della sezione di cls	A <sub>c</sub>	10,000.00	[cm <sup>2</sup> ]	
<b>Armature longitudinali</b>				
		n. Ferri	φ	Al
Armatura Tesa 1°	A <sub>s</sub>	6	24.00	2,714 [mm <sup>2</sup> ]
Armatura Tesa 2°	A <sub>s</sub>	-	-	-
Armatura Tesa TOTALE	A <sub>s</sub>	6	24	2,714
Armatura Compresa	A' <sub>s</sub>	6	24.00	2,714 [mm <sup>2</sup> ]
Ferri di Parete	A <sub>sp</sub>	-	-	- [mm <sup>2</sup> ]
Tot Armatura Longitudinale	A <sub>sl,Tot.</sub>	-	-	5,429 [mm <sup>2</sup> ]
Rapporto geometrico armatura	A <sub>sl,Tot./A<sub>c</sub></sub>	-	-	0.54% [-]
<b>Sollecitazioni</b>				
Sforzo Normale	N <sub>ed</sub>	-	[KN]	Compressione positivo
Momento flettente	M <sub>y,ed</sub>	-	[KN*m]	
Taglio	V <sub>ed</sub>	825.30	[KN]	
<b>VERIFICA ELEMENTI NON ARMATI A TAGLIO</b>				
4.1.2.3.5.1 Elementi SENZA armature trasversali resistenti a taglio			V <sub>ed</sub>	825.30 [KN]
Verifica	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>			[4.122 NTC]
V <sub>Rd</sub> = max [(0,18 · k · (100 · ρ <sub>l</sub> · f <sub>ctk</sub> ) <sup>1/3</sup> / γ <sub>c</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ] · b <sub>w</sub> · d · (v <sub>min</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ) · b <sub>w</sub> · d				
Altezza utile della sezione	d	95.00	[mm]	
Larghezza minima della sezione	b <sub>w</sub>	1,000.00	[mm]	
Area della Sezione in cls	A <sub>c</sub>	1,000,000.00	[mm <sup>2</sup> ]	
Sforzo normale di compressione	N (compr.)	-	[KN]	
Tensione limite di compressione nella sezione	σ <sub>cp,lim</sub>	2.82	[N/mm <sup>2</sup> ]	
Tensione media di compressione nella sezione	σ <sub>cp</sub>	-	< 0,2 f <sub>cd</sub> : ok	
Ingranamento degli inerti	k	1.46	< 2-ok	
Tensione di resistenza minima del cls	v <sub>min</sub>	0.31		
Area totale Armatura longitudinale TESA	A <sub>sl</sub>	2,714	[mm <sup>2</sup> ]	
Rapporto geometrico arm. long. TESA	ρ <sub>l</sub>	0.00271	< 0,02: ok	
V <sub>Rd,1</sub> = [0,18 · k · (100 · ρ <sub>l</sub> · f <sub>ctk</sub> ) <sup>1/3</sup> / γ <sub>c</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ] · b <sub>w</sub> · d	V <sub>Rd,1</sub>	314.44	[KN]	
V <sub>Rd,2</sub> = (v <sub>min</sub> + 0,15 · σ <sub>cp</sub> ) · b <sub>w</sub> · d	V <sub>Rd,2</sub>	292.35	[KN]	
Taglio resistente	V <sub>Rd</sub>	314.44	[KN]	
Tasso di sfruttamento	V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub>	2.62		
Fattore di sicurezza e Rapporto di Verifica	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>	0.38	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>	Attenzione: ARMARE A TAGLIO
<b>VERIFICA ELEMENTI ARMATI A TAGLIO CONTRIBUTO DELLE STAFFE</b>				
4.1.2.3.5.2 Elementi CON armature trasversali resistenti a taglio			V <sub>ed</sub> 100 %	825.30 [KN]
Verifica	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>			[4.1.26 NTC]
<b>La Cotangente è maggiore di 2.50: la crisi è da attribuirsi all'arm. STAFFE</b>				
Altezza utile della sezione	d	950.00	[mm]	
Diametro delle Staffe	φ <sub>sw</sub>	10.00	[mm]	
Numero di bracci	n.b.	2.00	[-]	
Area sezione trasversale armatura a taglio	A <sub>sw</sub>	157.08	[mm <sup>2</sup> ]	
Passo	s	10.00	[mm]	
Inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave	α	90.00	[°]	
Cotangente di α	ctg(α)	0.00	[-]	
Inclinazione del puntone compresso	θ	45.00	[°]	
Verifica [4.1.25 NTC]	1 ≤ ctg(θ) ≤ 2,5		1.00	ok
Coefficiente cautelativo	α <sub>c</sub>	1.00	[-]	
Resistenza a compressione ridotta	F <sub>cd</sub> =50%·f <sub>cd</sub>	7.06	[N/mm <sup>2</sup> ]	
V <sub>Rd</sub> = 0,9 · d · A <sub>sw</sub> / s · f <sub>yd</sub> · (ctg(α) + ctg(θ)) · sen(α)	V <sub>Rd</sub>	5,255.34	[KN]	
V <sub>Rd</sub> = 0,9 · d · b <sub>w</sub> · α <sub>c</sub> · F <sub>cd</sub> · (ctg(α) + ctg(θ)) · (1 + ctg <sup>2</sup> (θ))	V <sub>Rd</sub>	3,016.01	[KN]	
V <sub>Rd</sub> = min (V <sub>Rsd</sub> ; V <sub>Rcd</sub> )	V <sub>Rd</sub> = min (V <sub>Rsd</sub> ; V <sub>Rcd</sub> )	3,016.01	[KN]	
Tasso di sfruttamento	V <sub>Ed</sub> /V <sub>Rd</sub>	0.27	[-]	
Coefficiente di sicurezza ed Esito verifica	V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub>	3.65	V <sub>Rd</sub> > V <sub>Ed</sub>	ok

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	<b>44</b>

**10.2 VERIFICA SOTTOSPINTA IDRAULICA**

Per tale opera provvisoria non si effettua la verifica di sottospinta idraulica, poiché la falda si attesta a quota minore di quella del fondo scavo.

**10.3 INTEGRAZIONE DELLE FASI DI COSTRUZIONE**

Per quanto concerne le interferenze tra i puntoni e le fasi di costruzione si rimanda alla relazione di calcolo LI0B02EZZCLIV060X001C.

In tale opera sono state analizzate le varie fasi e riportati gli schemi e i calcoli per tutte le fasi significative, la verifica effettuata per il IV06 risulta una delle più cautelative per cui si assume che anche siano soddisfatte le verifiche delle restanti opere.

Ad ogni buon conto le verifiche di tutte le fasi per le OP della relazione in esame saranno effettuate in fase di PED.

**IV02 - Relazione di calcolo  
opere provvisionali**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
<b>LI0B</b>	<b>02</b>	<b>E</b>	<b>ZZ</b>	<b>CL</b>	<b>IV</b>	<b>02</b>	<b>0X</b>	<b>001</b>	<b>C</b>	45

**11. APPENDICE A. ANALISI PARATIE. TABULATI DI CALCOLO PARATIE**