

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA

## TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

#### S.O. OPERE CIVILI

#### RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

#### LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA

VIADOTTI

VI03 - VIADOTTO AL KM 342+542

Relazione di calcolo delle opere provvisionali

SCALA:

-

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

RS6K    00    R    09    CL    VI0300    003    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	MP&A 	Mag. 2022	A. Ferri 	Mag. 2022	P. Mosca 	Mag. 2022	A. Vittozzi  Mag. 2022

	LINEA <b>FASE PROGETTO - TRATTA / INTERVENTO</b> <b>LOTTO 2</b>					
Relazione di calcolo delle opere provvisionali	COMMESSA <b>RS6K</b>	LOTTO 00	CODIFICA R 09 CL	DOCUMENTO VI 03 00 003	REV. A	FOGLIO 2 di 22

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	5
4	OPERE PROVVISORIALI.....	6
4.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	7
4.2	CRITERI PROGETTUALI .....	7
4.3	MODELLO DI CALCOLO PARATIA VINCOLATA .....	9
	<i>4.3.1 Risultati e Verifiche Paratia Vincolata.....</i>	<i>13</i>
4.4	MODELLO DI CALCOLO PARATIA A SBALZO.....	16
	<i>4.4.1 Risultati e Verifiche Paratia a Sbalzo .....</i>	<i>18</i>
5	VERIFICA STABILITÀ SCAVI .....	21
6	INCIDENZA ARMATURE OOPP.....	22

## 1 INTRODUZIONE

Scopo del presente documento è l'analisi degli scavi e delle opere provvisionali propedeutiche agli interventi di consolidamento delle fondazioni del viadotto ad archi alla progressiva 342+542 della linea ferroviaria Caltagirone-Gela.

Considerato il battente idrico agente sul fondo scavo, è prevista la realizzazione di paratie di pali secanti D920 posti ad un interasse di 75 cm che si intestano sullo strato impermeabile (unità 2). Tali opere si compongono di pali primari in calcestruzzo non armato che vengono poi riperforati per far spazio ai pali secondari in calcestruzzo armato, svolgenti funzione portante.

Una volta realizzati gli interventi, le paratie verranno in parte demolite per far posto alla sistemazione idraulica del corso d'acqua, per la quale si rimanda agli elaborati specifici.

Durante le lavorazioni è previsto un aggotamento di acqua al fine di rendere il fondo scavo asciutto.

## 2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le principali Normative nazionali ed internazionali vigenti alla data di redazione del presente documento e prese a riferimento sono le seguenti:

- Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni»
- Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 gennaio 2019, n. 617 C.S.LL.PP., «Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018»
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 003 - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 004 - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di impalcati ferroviari a travi in ferro a doppio T incorporate nel calcestruzzo
- UNI EN 1991-1-1:2004 – Azioni sulle strutture - Parte 1-1: Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici
- UNI EN 1992-1-1: EUROCODICE 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici.
- UNI EN 1997-1:2005 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- UNI EN 1998-1:2005 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-5:2005 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Si riportano nelle tabelle seguenti le principali caratteristiche dei materiali impiegati.

ACCIAIO CARPENTERIA	<b>S355</b>	
Peso per unità di volume		
$\gamma$	77	kN/m <sup>3</sup>
Resistenza a compressione		
$f_{yk}$	355	MPa
$f_{tk}$	509.7	MPa
Modulo elastico		
E	206000	MPa

ACCIAIO ARMATURE	<b>B450C</b>	
Peso per unità di volume		
$\gamma$	77	kN/m <sup>3</sup>
Resistenza a compressione		
$f_{yk}$	449.7	MPa
Modulo elastico		
E	210000	MPa

CALCESTRUZZO	<b>C25/30</b>	
Peso per unità di volume		
$\gamma$	25	kN/m <sup>3</sup>
Resistenza a compressione		
$R_{ck}$	30	MPa
$f_{ck}$	24.8	MPa
Modulo elastico		
E	31475.7	MPa

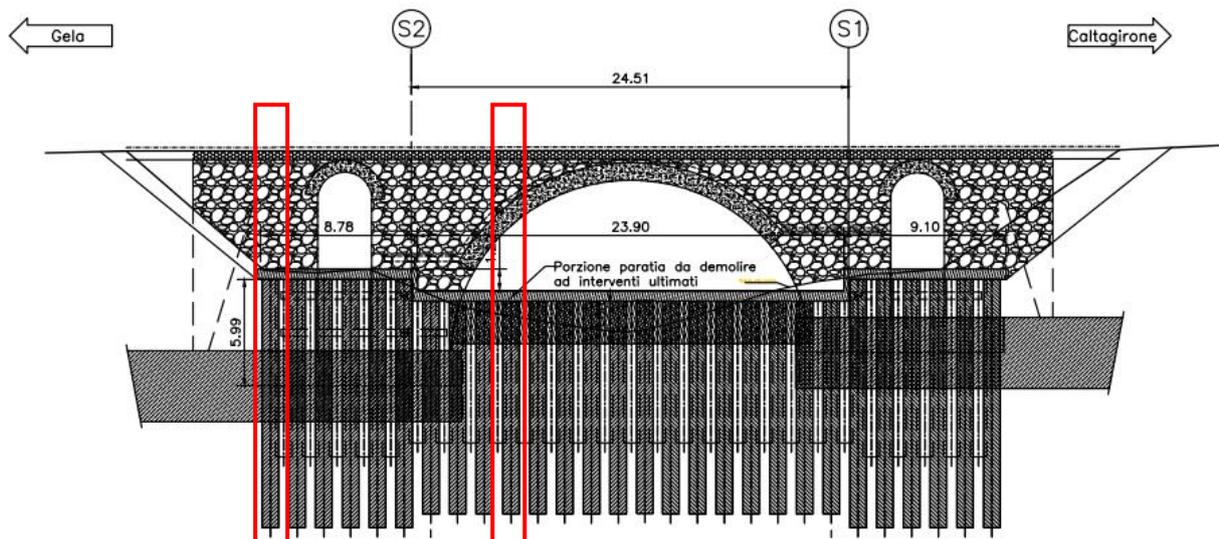
Classe di resistenza minima	C25/30
Tipo cemento	CEM III÷V
Rapporto A/C	≤ 0.5
Classe di esposizione ambientale	XA2
Copriferro minimo	60 mm

#### 4 OPERE PROVVISORIALI

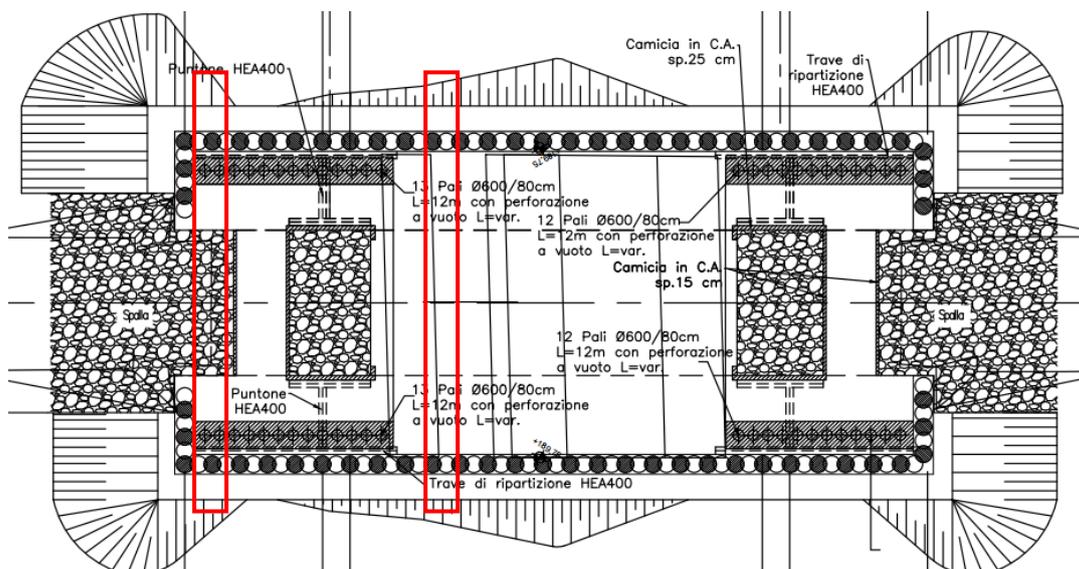
Tali opere si compongono di paratie di pali secanti di diametro 920mm, posti ad interasse di 0.75 m, disposti perimetralmente al viadotto, in modo tale da inglobare entrambe le spalle.

In testa ai pali è presente un cordolo di coronamento gettato in opera in c.a. di dimensioni  $B \times H = 1.10 \times 0.60$  m.

La soluzione proposta vede la presenza di tratti vincolati (con travi di ripartizione e puntoni HEA400) e di tratti a sbalzo. L'altezza di scavo è variabile, tuttavia nella presente relazione verrà esposta la verifica della porzione di paratia vincolata con altezza di scavo maggiore (riquadro a sx) e di quella a sbalzo con altezza di scavo maggiore (riquadro a dx), indicate nella figura sottostante



**Fig. 1 – vista in sezione ed ubicazione delle sezioni oggetto di verifica**



**Fig. 2 – vista in pianta ed ubicazione delle sezioni oggetto di verifica**

#### 4.1 Caratterizzazione Geotecnica

Lo schema geotecnico di riferimento per l'opera in esame è rispettoso della *Relazione Geotecnica*.

Di seguito si riassumono i parametri di resistenza e la stratigrafia di progetto per le formazioni interagenti con l'opera. Per l'Unità 1, cautelativamente, si è posta la coesione pari a 0 e si è scelto per l'angolo di resistenza al taglio un valore prossimo al lower bound. Per l'Unità 2 i valori di coesione ed angolo di resistenza al taglio sono invece entrambi a metà dei range forniti.

Parametri	UNITA' 1	UNITA' 2
	-	-
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	20	19
$\varphi'$ (°)	31	28
$c'$ (kPa)	0	10
$E_{op}$ (MPa)	40	60

Strato	Profondità da (m da p.c.)	Profondità a (m da p.c.)	Descrizione
1	0.0	3.7÷5.5	Unità 1
2	3.7÷5.5	-	Unità 2

QUOTA DELLA FALDA: 0.9 m da testa paratia

#### 4.2 Criteri Progettuali

La verifica in condizioni sismiche delle paratie provvisionali sarà omessa ai sensi del DM. 17/01/2018 §2.4.1 in quanto opera provvisoria con durata in progetto inferiore a 2 anni.

Per ciò che riguarda i carichi agenti a monte dell'opera di sostegno, si considera, ove presente, il peso permanente del terreno.

Sovraccarico permanente:  $q_p = 0$  kPa

Si considera inoltre un sovraccarico dovuto alla presenza di mezzi di cantiere per 10 m a tergo della paratia.

Sovraccarico variabile:  $q_{var.} = 10$  kPa.

Nella modellazione della paratia è stata considerata la presenza di eventuali puntoni schematizzandoli come vincoli fissi e rigidi.

Le profondità di scavo sono state incrementate secondo le indicazioni delle NTC18 §6.5.2.2

Relazione di calcolo delle opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3K	02	D 09 CL	VI 03 00 003	A	8 di 22

Per le verifiche nei confronti degli stati limite ultimi di tipo strutturale si è sfruttato l'approccio 1 nella combinazione 1 (A1+M1+R1), con coefficienti del gruppo R1 unitari.

Viceversa, nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi di tipo geotecnico, si è sfruttato l'approccio 1 nella combinazione 2 (A2+M2+R1).

Per le verifiche agli stati limite di esercizio i coefficienti parziali dei gruppi A,M ed R sono stati posti tutti pari all'unità.

I coefficienti parziali di normativa sono riportati nelle tabelle seguenti.

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

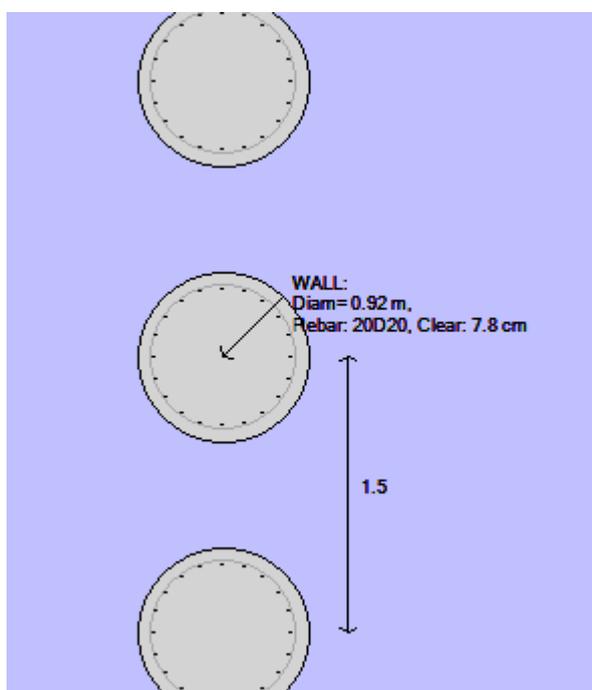
### 4.3 Modello Di Calcolo Paratia Vincolata

La paratia di pali secanti è costituita da pali Ø920mm posti ad interasse 0.75m, di lunghezza 14m.

Data l'elevata profondità di scavo è prevista l'installazione di due livelli di vincolo.

La falda è posta a 0.9 m dalla testa dei pali.

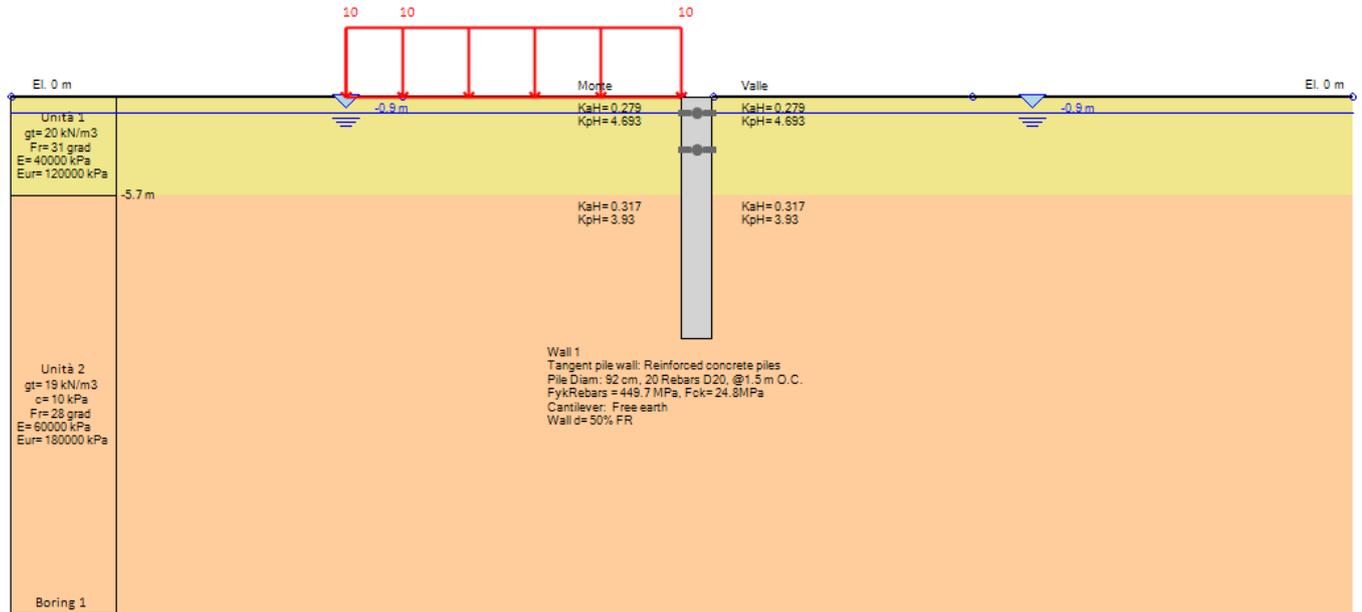
Si riporta una rappresentazione schematica della configurazione geometrica, dove sono riportati i soli pali armati (gli unici considerati ai fine delle verifiche).



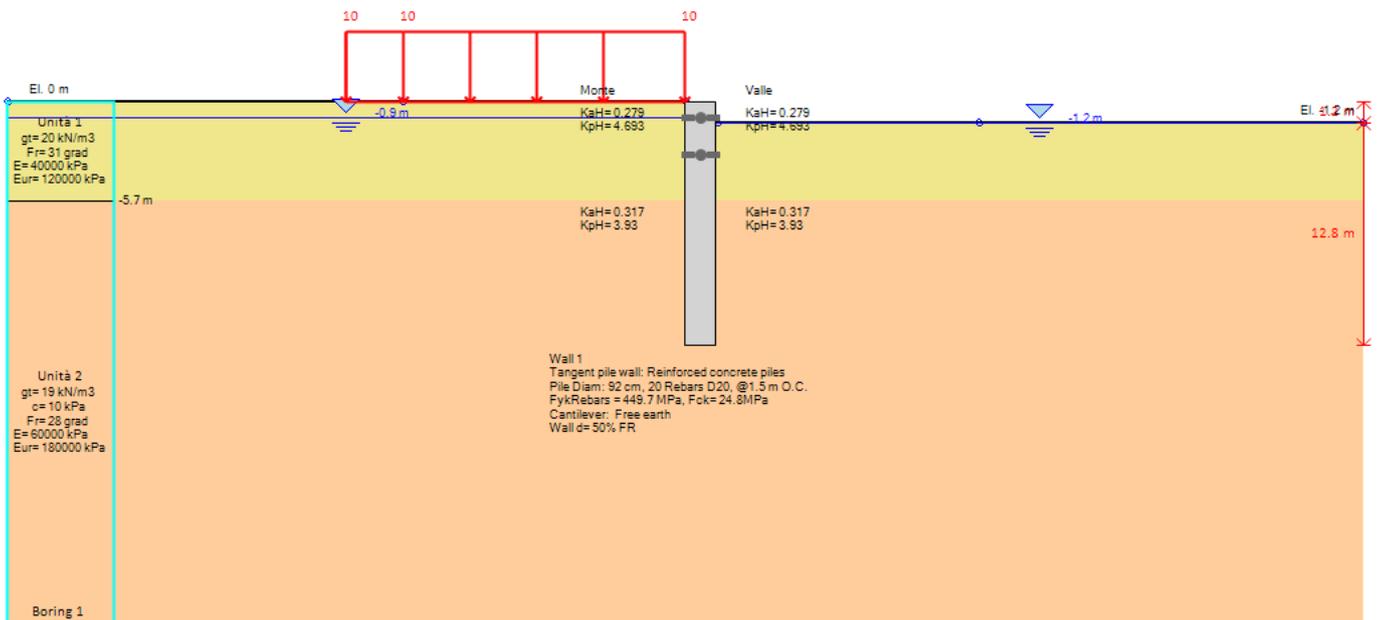
**Fig. 3: geometria della paratia**

La fasi di calcolo risultano:

- FASE 0): Realizzazione dei pali. A monte si considera un sovraccarico dovuto alla presenza di mezzi di cantiere pari a 10 kPa. La falda è posta a 0.9 m di profondità.
- FASE 1): Scavo fino alla profondità di 1.2 m al fine di consentire l'installazione del primo livello di vincolo. La falda a valle si trova a fondo scavo;
- FASE 2): Attivazione del primo livello di vincolo alla profondità di 0.9 m da p.c.;
- FASE 3): Scavo fino alla profondità di 3.3 m al fine di consentire l'installazione del secondo livello di vincolo. La falda a monte è nella stessa posizione della fase precedente, mentre a valle è a fondo scavo;
- FASE 4): Attivazione del secondo livello di vincolo alla profondità di 3 m da p.c.;
- FASE 5): Scavo fino alla profondità di 6.3 m (già incrementata secondo NTC) con falda mantenuta a fondo scavo a valle ed a 0.9 m di profondità a monte.



**Fig. 4 –Modello di calcolo: FASE 0**



**Fig. 5 –Modello di calcolo: FASE 1**

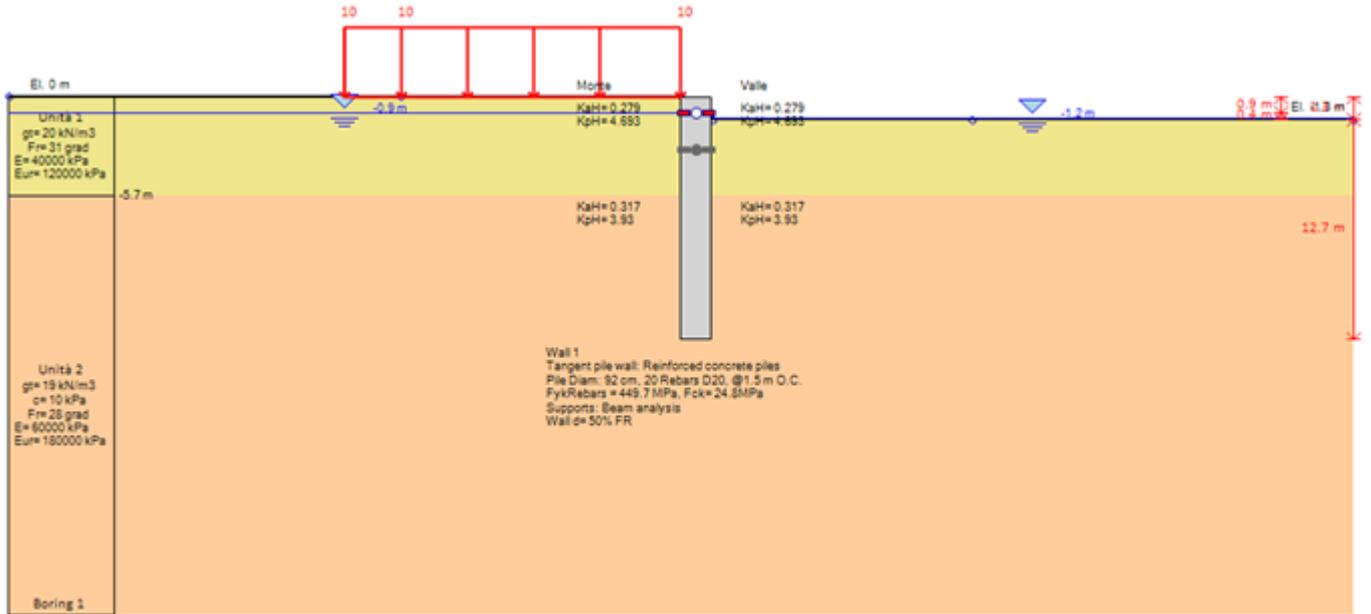


Fig. 6 –Modello di calcolo: FASE 2

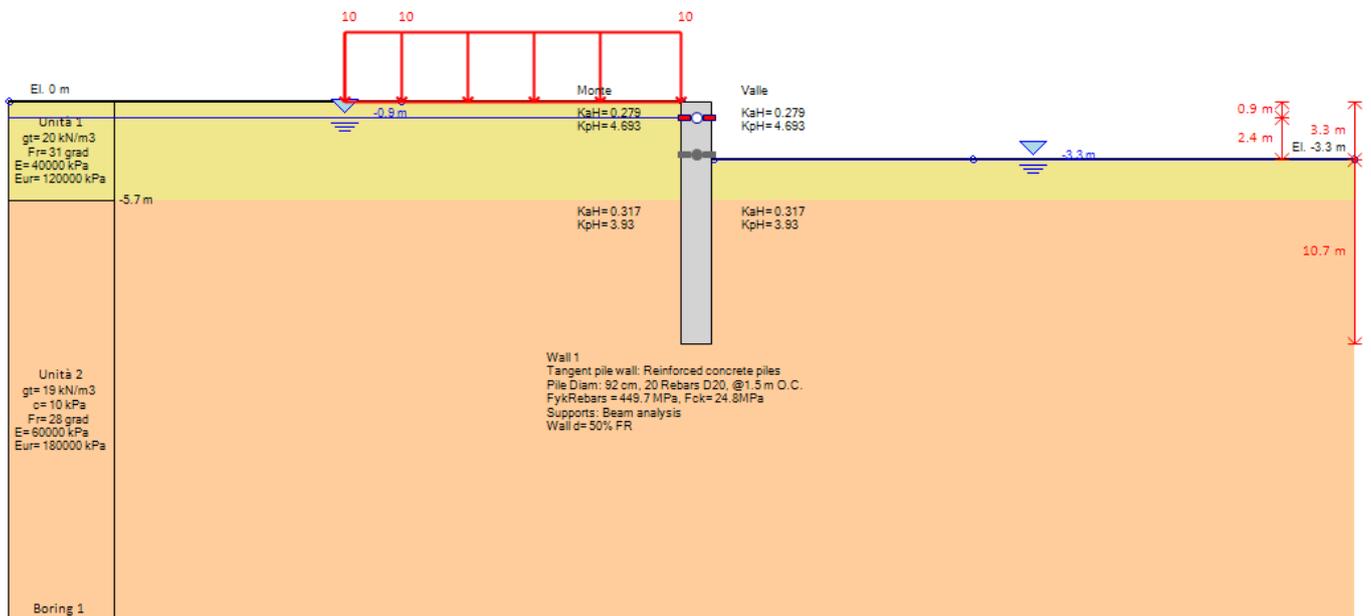
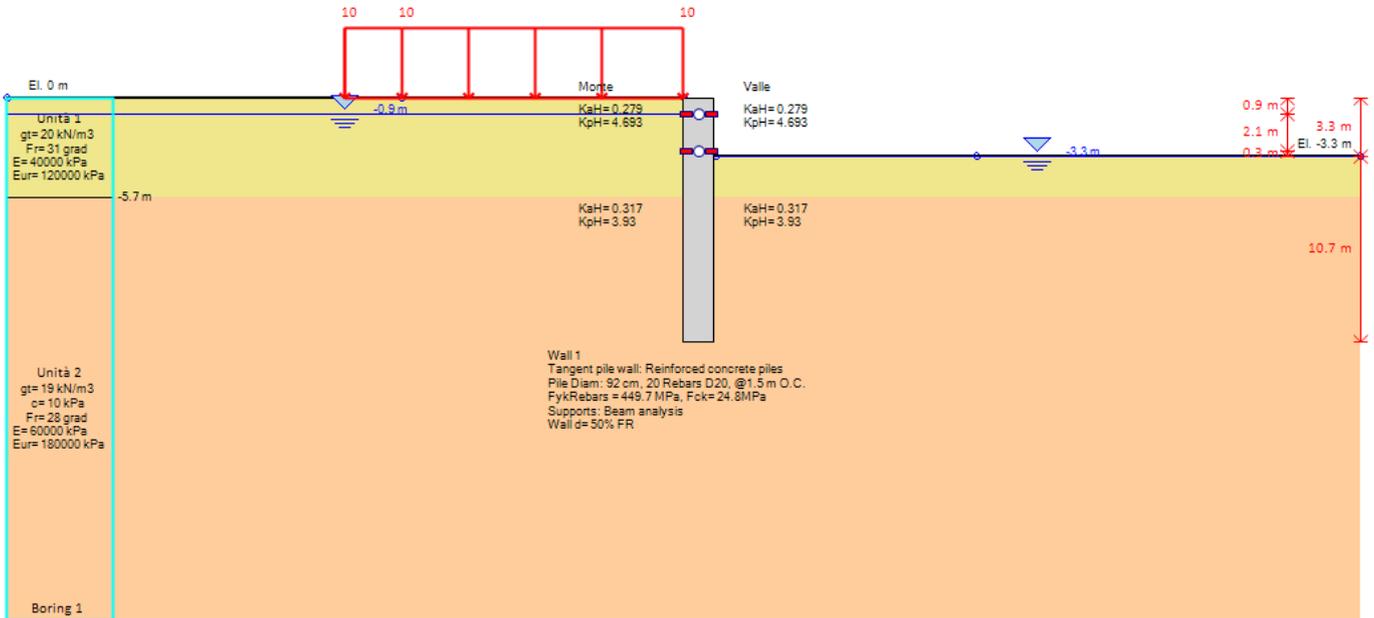
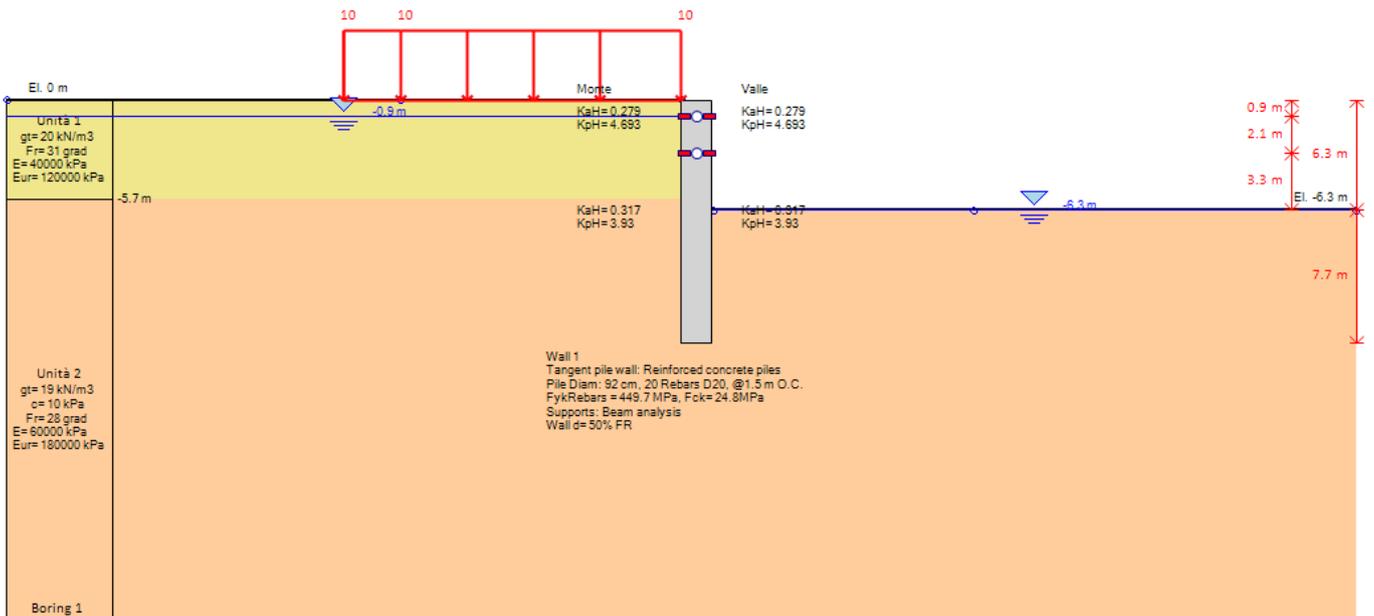


Fig. 7 – Modello di calcolo: FASE 3



**Fig. 8 - Modello di calcolo: FASE 4**



**Fig. 9 - Modello di calcolo: FASE 5**

### 4.3.1 Risultati e Verifiche Paratia Vincolata

#### 4.3.1.1 Verifiche strutturali dei pali

La figura seguente mostra l'armatura a flessione e a taglio ipotizzata per i pali.

Sezione
Armature
Layout

1. Scelta sezione

Diversifica armatura lungo la paratia

2. Dimensioni

D 92 cm    A 6647.610 cm<sup>2</sup>    I<sub>xx</sub> 3516585 cm<sup>4</sup>

3. Armatura longitudinale

Armatura lato sx

N 20     $\Phi$  D20    A<sub>sx</sub> 62.84 cm<sup>2</sup>    s<sub>x</sub> 8.8 cm

Armatura lato dx

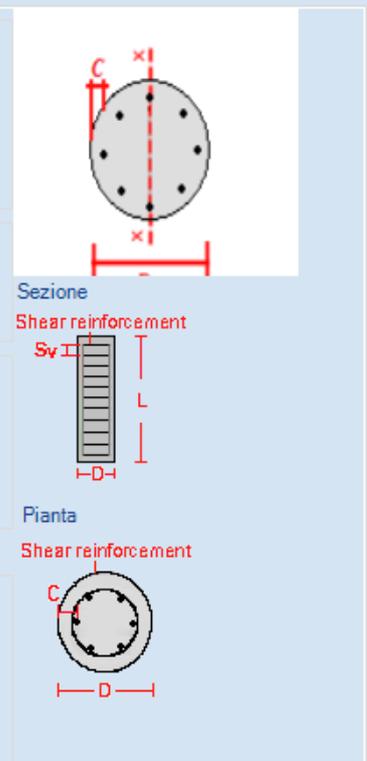
N 6     $\Phi$  D16    A<sub>dx</sub> 12.066 cm<sup>2</sup>    C<sub>dx</sub> 7.62 cm

4. Armatura a taglio

$\Phi$  D14    Area 1.539 cm<sup>2</sup>    s<sub>V</sub> 15 cm    s<sub>H</sub> 0 cm

Armatura a spirale (Armature  $\Phi$ 10 per 10mm diam.)

Considera come soletta per verifica a taglio



Sezione

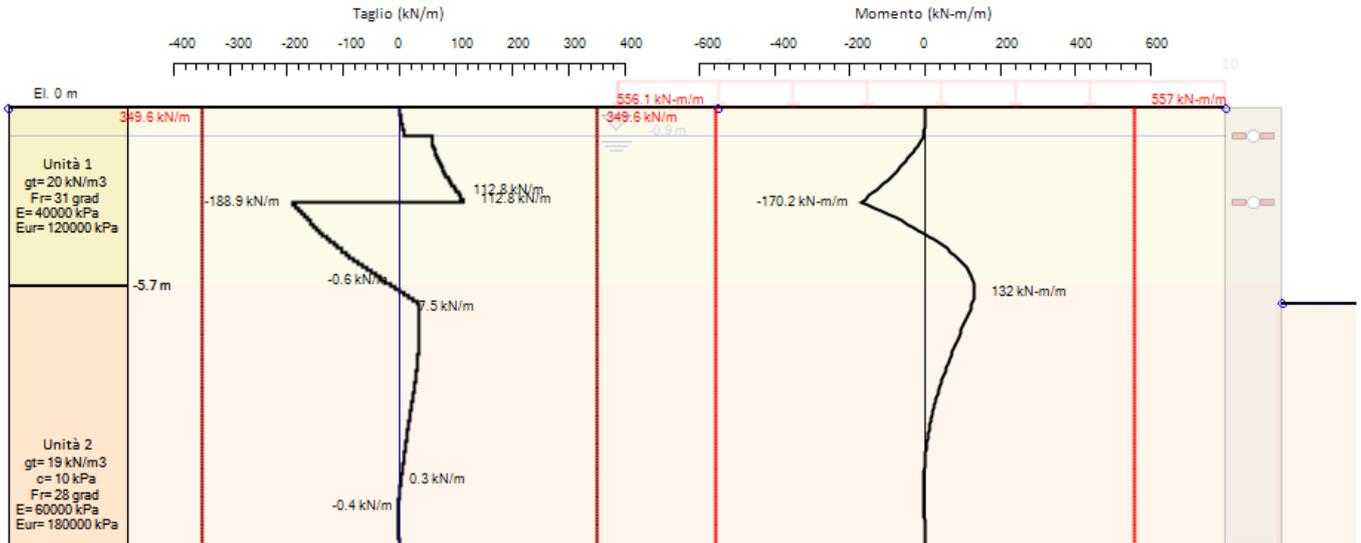
Shear reinforcement

Pianta

Shear reinforcement

**Fig. 10: Armature longitudinali e trasversali dei pali**

Si riporta quindi una rappresentazione attestante il soddisfacimento delle verifiche strutturali, nella quale è possibile apprezzare l'andamento delle sollecitazioni lungo il palo ed i valori di resistenza a flessione e a taglio forniti da quest'ultimo (linee rosse).



**Fig. 11: Sollecitazioni e verifiche strutturali (A1+M1+R1)**

#### 4.3.1.2 Verifiche geotecniche SLU

In merito alle verifiche di carattere geotecnico (GEO), nella tabella che segue si mostrano i risultati delle analisi eseguite nel rispetto della combinazione 2 dell'approccio 1.

FASE 2	SLU (statica)
	(A2+M2+R1)
FS % passiva mobilitata	1.6

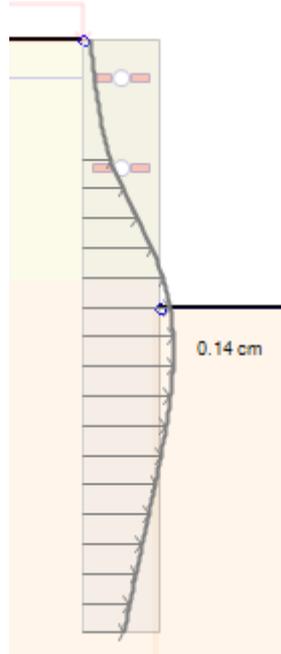
avendo posto:

- **FS % passiva mobilitata:** rapporto tra la spinta passiva e la spinta effettivamente mobilitata a valle.

La verifica di stabilità globale viene omessa in quanto non ritenuta significativa, perché trattasi di uno scavo completamente circondato da pali con relativo tappo di fondo.

#### 4.3.1.3 Verifiche geotecniche SLE

Nella figura che segue si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera allo SLE nella condizione maggiormente gravosa (fase di massimo scavo).



**Fig. 12 –Diagramma degli spostamenti orizzontali allo SLE**

Spostamento orizzontale massimo $\delta_{h\_max}$ (cm)	0.14
--	------

In relazione alla provvisionalità dell'opera, gli spostamenti orizzontali massimi risultano compatibili con la sua funzionalità.

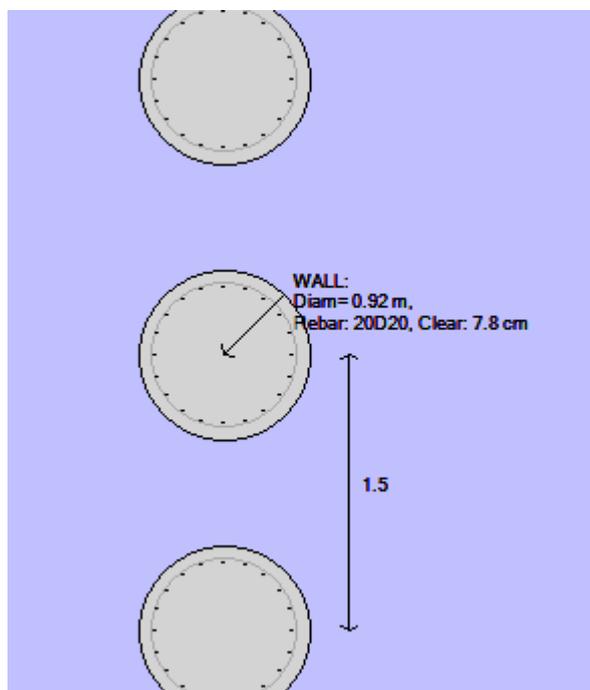
#### 4.4 Modello di Calcolo Paratia a Sbalzo

La paratia di pali secanti è costituita da pali Ø920mm posti ad interasse 0.75m, di lunghezza 12m.

Data la ridotta profondità di scavo, non è prevista l'installazione di livelli di vincolo.

La falda è posta a 0.9 m dalla testa dei pali.

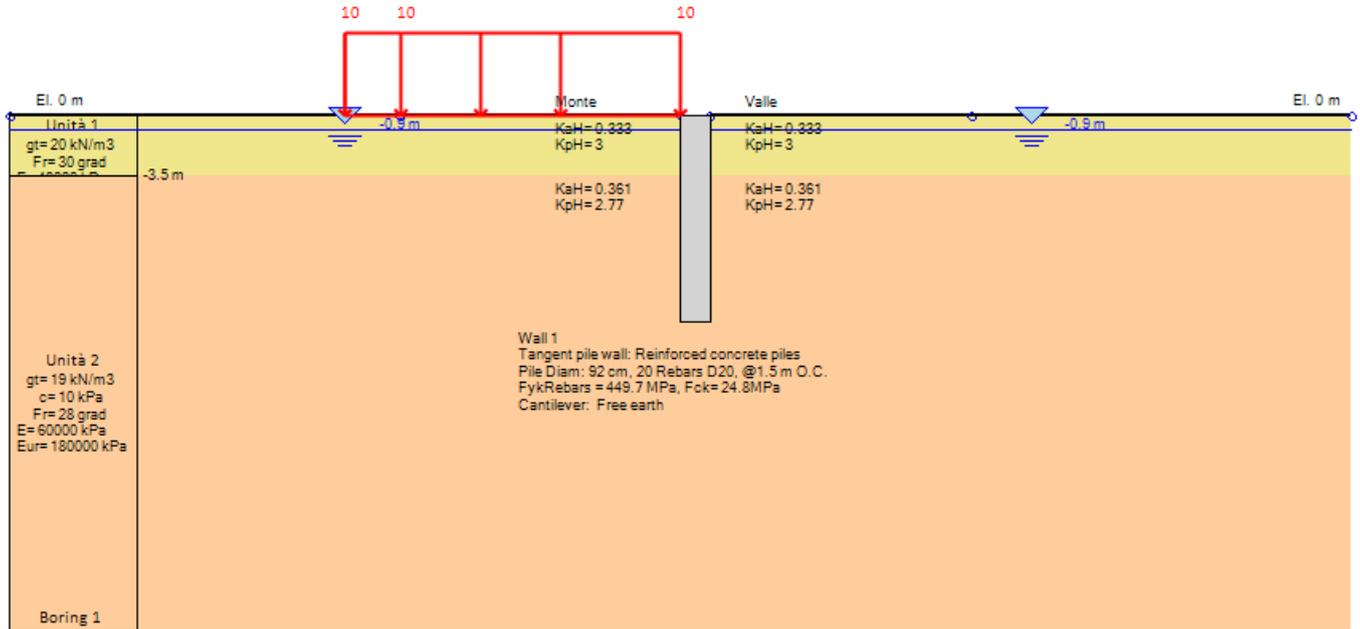
Si riporta una rappresentazione schematica della configurazione geometrica, dove sono riportati i soli pali armati (gli unici considerati ai fine delle verifiche).



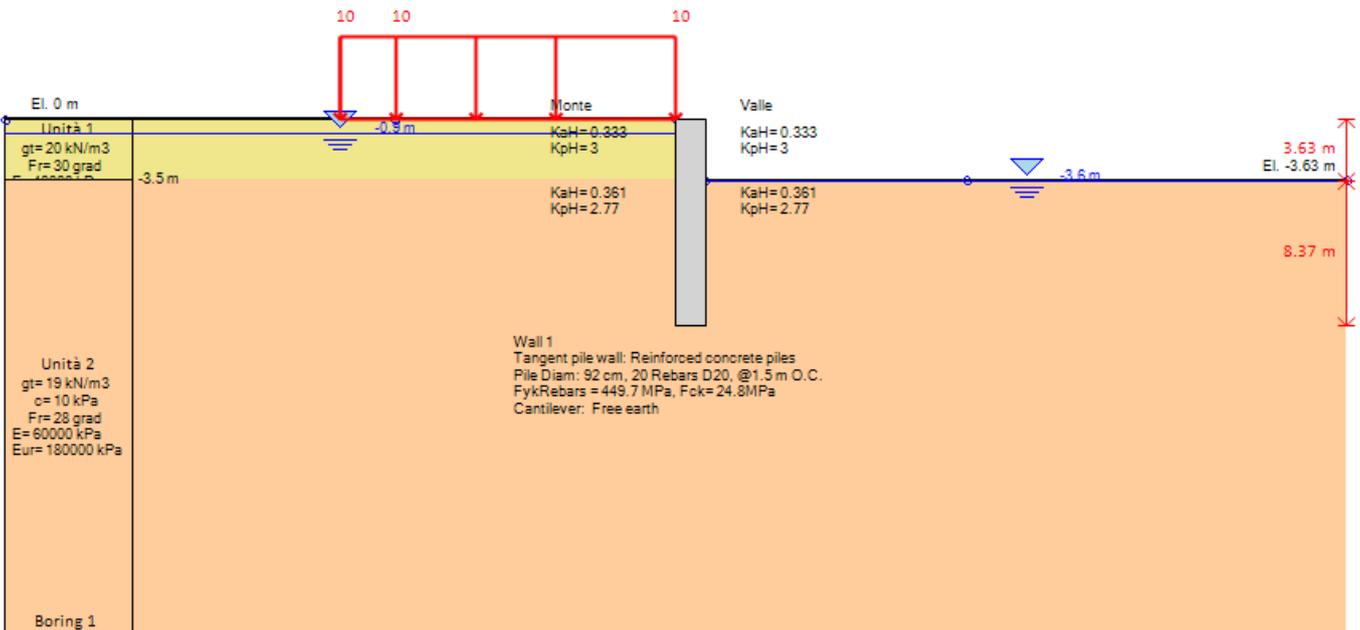
**Fig. 13: geometria della paratia**

La fasi di calcolo risultano:

- FASE 0): Realizzazione dei pali. A monte si considera un sovraccarico dovuto alla presenza di mezzi di cantiere pari a 10 kPa. La falda è posta a 0.9 m di profondità.
- FASE 1): Scavo fino alla profondità di 3.63 m (profondità già incrementata secondo NTC18). La falda a valle si trova a fondo scavo, mentre a monte è nella stessa posizione della fase precedente.



**Fig. 14 - Modello di calcolo: FASE 0**

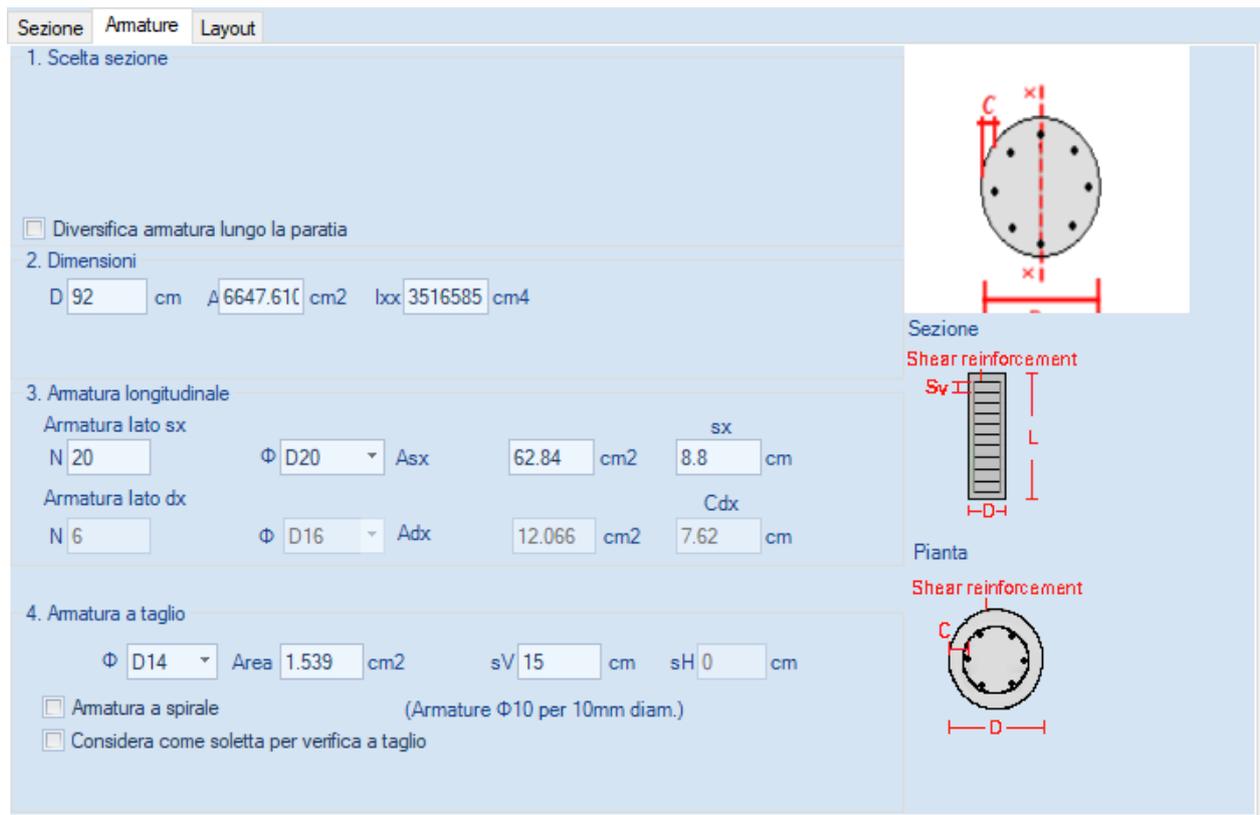


**Fig. 15 - Modello di calcolo: FASE 1**

#### 4.4.1 Risultati e Verifiche Paratia a Sbalzo

##### 4.4.1.1 Verifiche strutturali dei pali

La figura seguente mostra l'armatura a flessione e a taglio ipotizzata per i pali.



The screenshot displays the following parameters and diagrams:

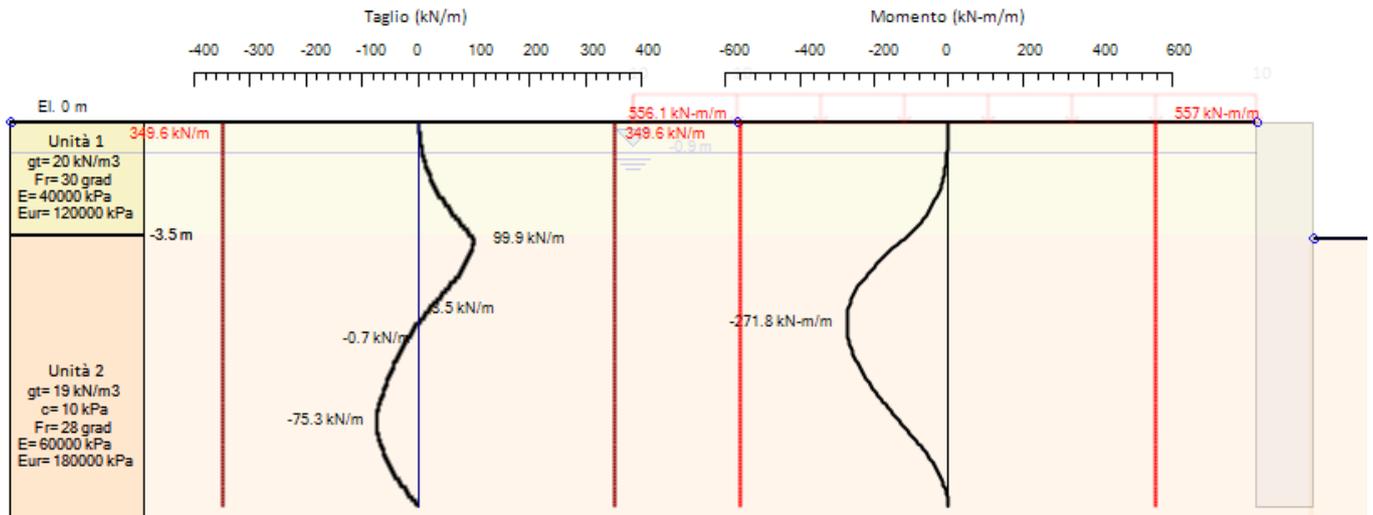
- 1. Scelta sezione:**
  - Diversifica armatura lungo la paratia
- 2. Dimensioni:**
  - D: 92 cm
  - A: 6647.610 cm<sup>2</sup>
  - I<sub>xx</sub>: 3516585 cm<sup>4</sup>
- 3. Armatura longitudinale:**
  - Armatura lato sx: N 20,  $\Phi$  D20, A<sub>sx</sub> 62.84 cm<sup>2</sup>, s<sub>x</sub> 8.8 cm
  - Armatura lato dx: N 6,  $\Phi$  D16, A<sub>dx</sub> 12.066 cm<sup>2</sup>, C<sub>dx</sub> 7.62 cm
- 4. Armatura a taglio:**
  - $\Phi$  D14, Area 1.539 cm<sup>2</sup>, s<sub>V</sub> 15 cm, s<sub>H</sub> 0 cm
  - Armatura a spirale (Armature  $\Phi$ 10 per 10mm diam.)
  - Considera come soletta per verifica a taglio

Diagrams shown:

- Sezione:** Circular cross-section of the pile with reinforcement points marked.
- Sezione Shear reinforcement:** Longitudinal section showing shear reinforcement with length L and diameter  $\Phi$ -D.
- Pianta Shear reinforcement:** Plan view showing shear reinforcement with diameter  $\Phi$ -D.

**Fig. 16: Armature longitudinali e trasversali dei pali**

Si riporta quindi una rappresentazione attestante il soddisfacimento delle verifiche strutturali, nella quale è possibile apprezzare l'andamento delle sollecitazioni lungo il palo ed i valori di resistenza a flessione e a taglio forniti da quest'ultimo (linee rosse).



**Fig. 17: Sollecitazioni e verifiche strutturali (A1+M1+R1)**

#### 4.4.1.2 Verifiche geotecniche SLU

In merito alle verifiche di carattere geotecnico (GEO), nella tabella che segue si mostrano i risultati delle analisi eseguite nel rispetto della combinazione 2 dell'approccio 1.

FASE 2	SLU (statica)
	(A2+M2+R1)
FS % passiva mobilitata	1.55

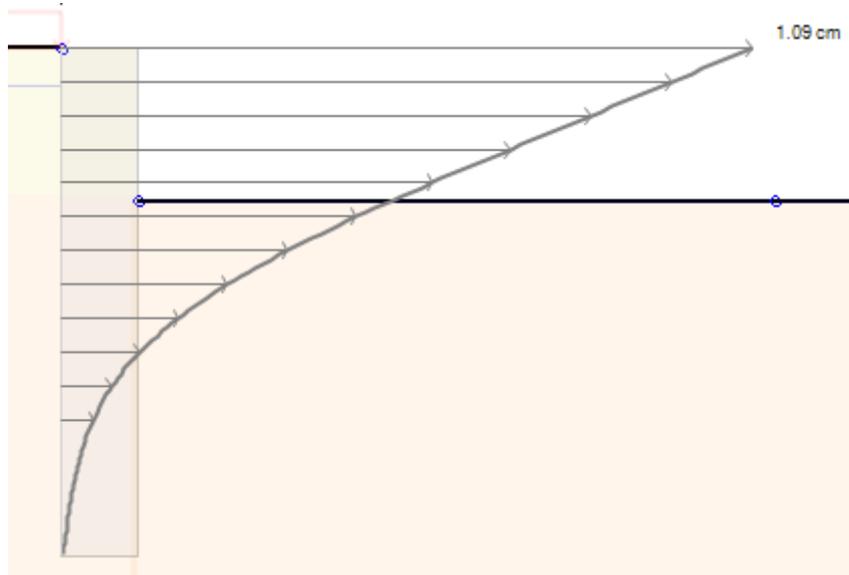
avendo posto:

- **FS % passiva mobilitata:** rapporto tra la spinta passiva e la spinta effettivamente mobilitata a valle.

La verifica di stabilità globale viene omessa in quanto non ritenuta significativa, perché trattasi di uno scavo completamente circondato da pali con relativo tappo di fondo.

#### 4.4.1.3 Verifiche geotecniche SLE

Nella figura che segue si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera allo SLE nella condizione maggiormente gravosa (fase di massimo scavo).



**Fig. 18 –Diagramma degli spostamenti orizzontali allo SLE**

Spostamento orizzontale massimo $\delta_{h\_max}$ (cm)	1.09
--	------

In relazione alla provvisionalità dell'opera, gli spostamenti orizzontali massimi risultano compatibili con la sua funzionalità.

## 5 VERIFICA STABILITÀ SCAVI

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità globale degli scavi realizzati (con pendenza 3:2) nell'ambito degli interventi di miglioramento strutturale delle fondazioni del viadotto in esame.

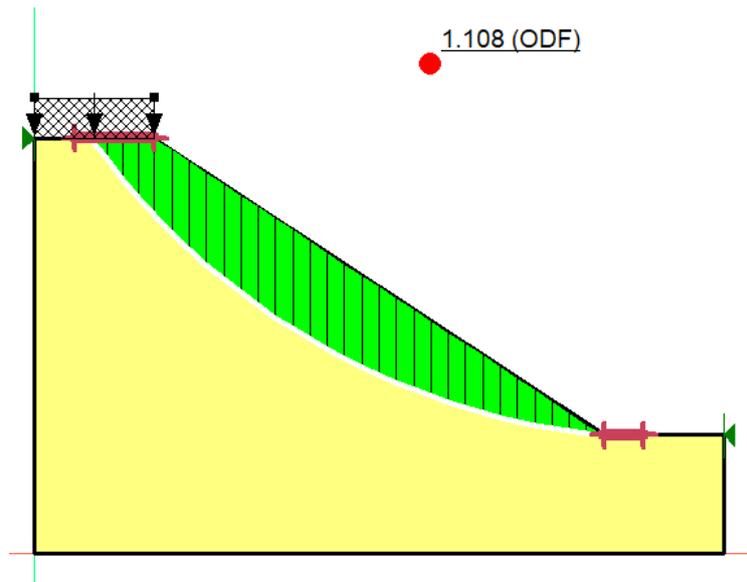
Le verifiche sono state condotte facendo riferimento alla situazione più gravosa per l'intero viadotto, ovvero quella con il fronte di scavo maggiore. Cautelativamente si è sempre considerata la presenza a monte dello scavo di un carico pari a 10 kPa corrispondente al passaggio di mezzi di cantiere.

Le verifiche effettuate secondo le indicazioni delle NTC18 (A2+M2+R2) sono state condotte mediante il software GEOSLOPE.

La tabella seguente riporta i parametri geotecnici utilizzati, in accordo con quanto riportato nella relazione geotecnica. Si specifica tuttavia che, al fine di ottenere una stima realistica della superficie di scorrimento critica, escludendo quindi le superfici "corticali", si è in questo caso utilizzata una coesione efficace di 5 kPa (valore rispettoso del range definito nella relazione geotecnica).

Parametri	UNITA' 1
	-
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	20
$\phi'$ (°)	31
$c'$ (kPa)	5

Altezza Massima scavo: 7.5m



**Fig. 19 –Verifica stabilità scavo**

La verifica risulta soddisfatta.

## 6 INCIDENZA ARMATURE OOPP

Si riporta l'incidenza delle armature per i pali costituenti le opere provvisionali.

- Incidenza pali = 120 kg/m<sup>3</sup>
- Cordolo sommitale (BxH) 110x60 cm Incidenza =120 kg/m<sup>3</sup>