

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

VI05 - VIADOTTO AL KM 347+996

Relazione di calcolo delle opere provvisionali

SCALA:

-

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

RS6K 00 R 09 CL VI0500 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. Vitozzi

File: RS6K00R09CLVI0500003A.dwg

n. Elab.: 70

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
4	OPERE PROVVISORIALI.....	6
4.1	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.2	CRITERI PROGETTUALI	9
4.3	MODELLO DI CALCOLO.....	11
4.4	RISULTATI E VERIFICHE.....	14
4.4.1	<i>Verifiche strutturali dei pali</i>	14
4.4.2	<i>Verifiche geotecniche SLU</i>	15
4.4.3	<i>Verifiche geotecniche SLE</i>	16
5	VERIFICA STABILITÀ SCAVI	23
6	INCIDENZA ARMATURE OOPP	24

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 347+996 della linea ferroviaria Caltagirone-Gela.

In corrispondenza di tutte le pile e delle spalle del viadotto è prevista la realizzazione di paratie di pali di medio diametro D600 posti ad un interasse di 80 cm.

Si specifica tuttavia che, in corrispondenza delle pile 6,7,8 e 9, considerato il battente idrico agente sul fondo scavo, si è ritenuto opportuno prevedere 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 sono disposte a formare due rettangoli che racchiudono due pile ciascuno e si compongono di pali primari in calcestruzzo non armato che vengono poi rip perforati per far spazio ai pali secondari in calcestruzzo armato, svolgenti funzione portante.

Durante le lavorazioni è previsto un aggettamento 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	S355
Peso per unità di volume	
γ	77 kN/m ³
Resistenza a compressione	
f_{yk}	355 MPa
f_{tk}	509.7 MPa
Modulo elastico	
E	206000 MPa

ACCIAIO ARMATURE	B450C
Peso per unità di volume	
γ	77 kN/m ³
Resistenza a compressione	
f_{yk}	449.7 MPa
Modulo elastico	
E	210000 MPa

CALCESTRUZZO	C25/30
Peso per unità di volume	
γ	25 kN/m ³
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 D600 posti ad interasse di 80 cm e di paratie di pali secanti di diametro 920mm, posti ad interasse di 0.75 m. Queste ultime sono disposte perimetralmente ai plinti delle pile 6 e 7 ed ai plinti delle pile 8 e 9.

In testa ai pali è presente un cordolo di coronamento gettato in opera in c.a. di dimensioni BxH=0.80x0.60 m nel caso di pali D600 e BxH=1.10x0.60m per i pali secanti D920.

La soluzione proposta vede la presenza di un livello di vincolo per mezzo di travi di ripartizione e puntoni HEA400.

L'altezza di scavo è variabile, tuttavia nella presente relazione verranno espone solamente la verifica della paratia di pali D600 e della paratia di pali secanti D920 ritenute più critiche.

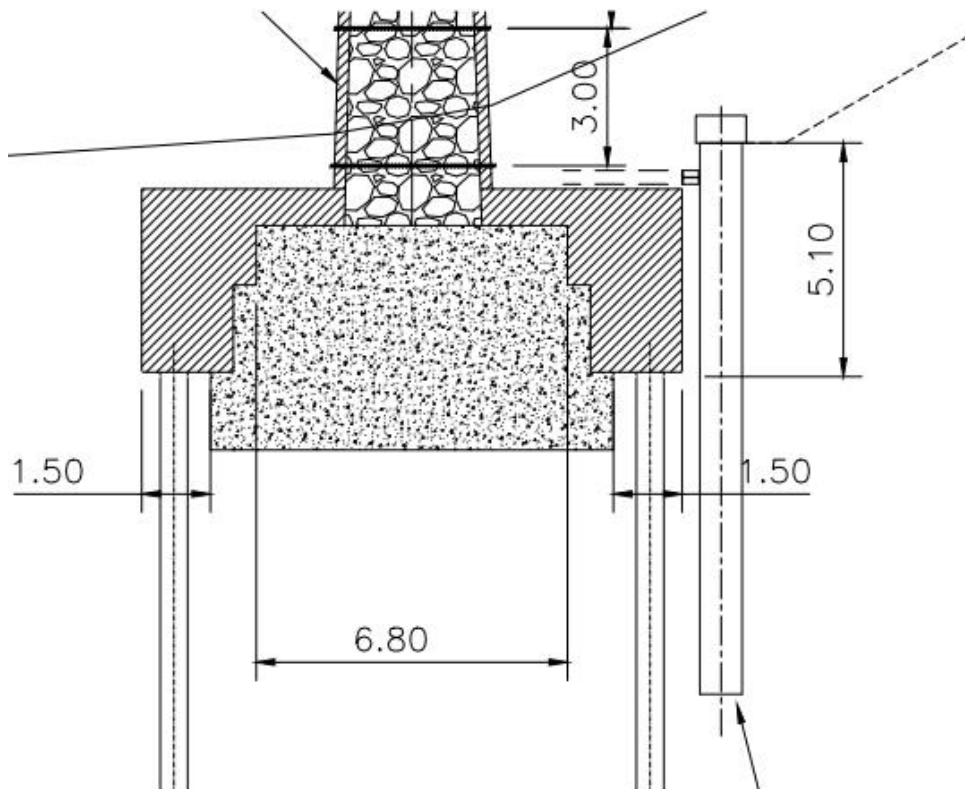


Fig. 1: sezione paratia pali secanti D920

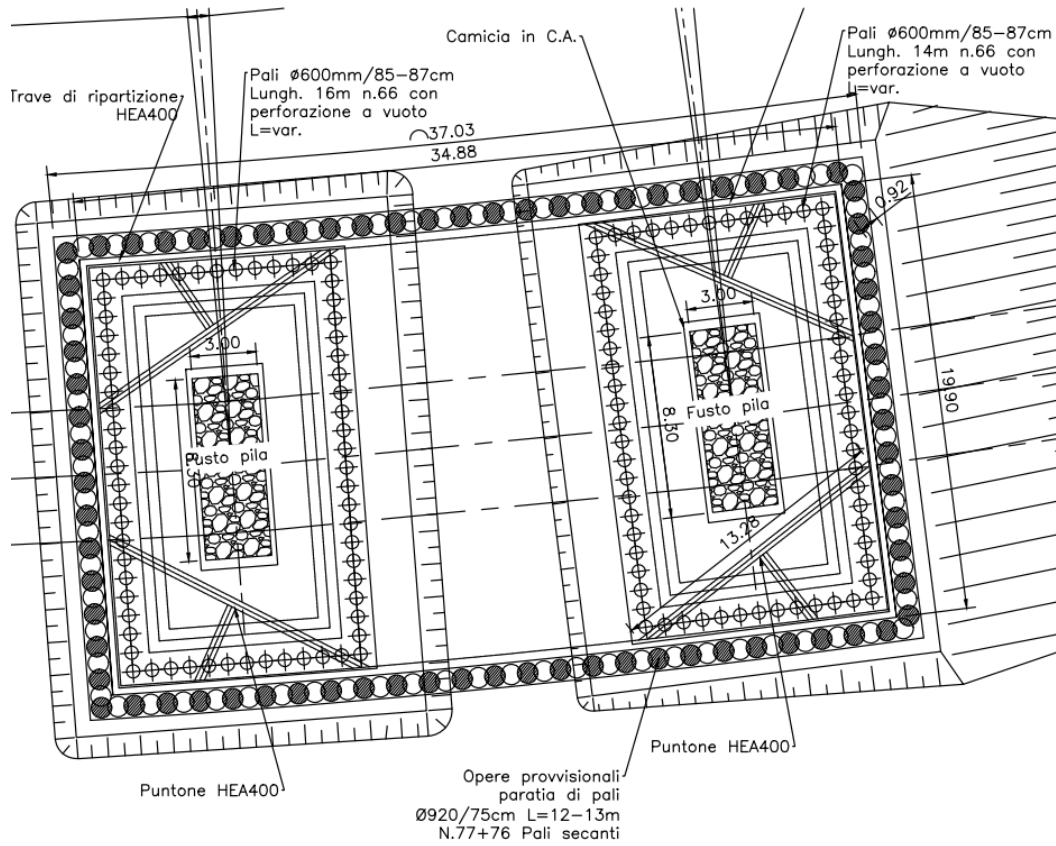


Fig. 2: pianta paratia pali secanti D920

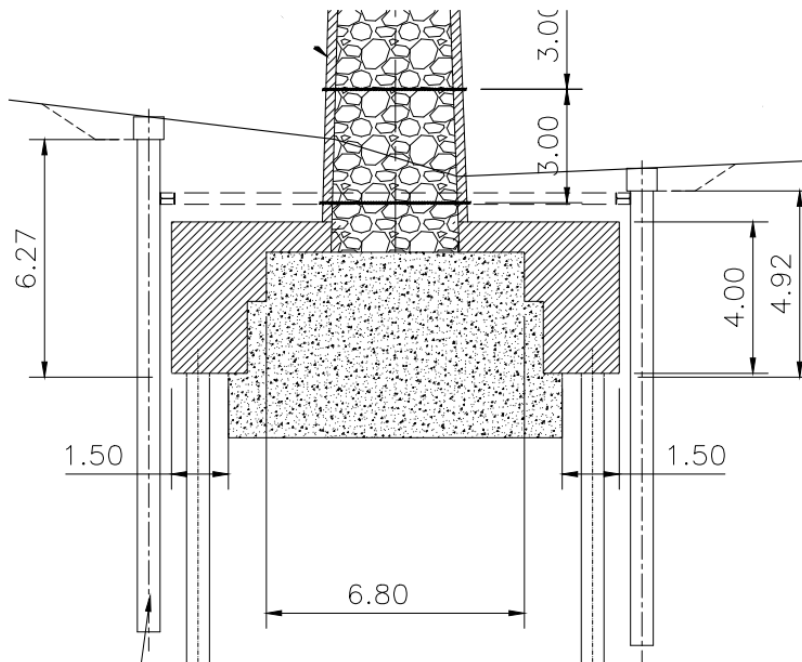


Fig. 3: sezione paratia pali D600

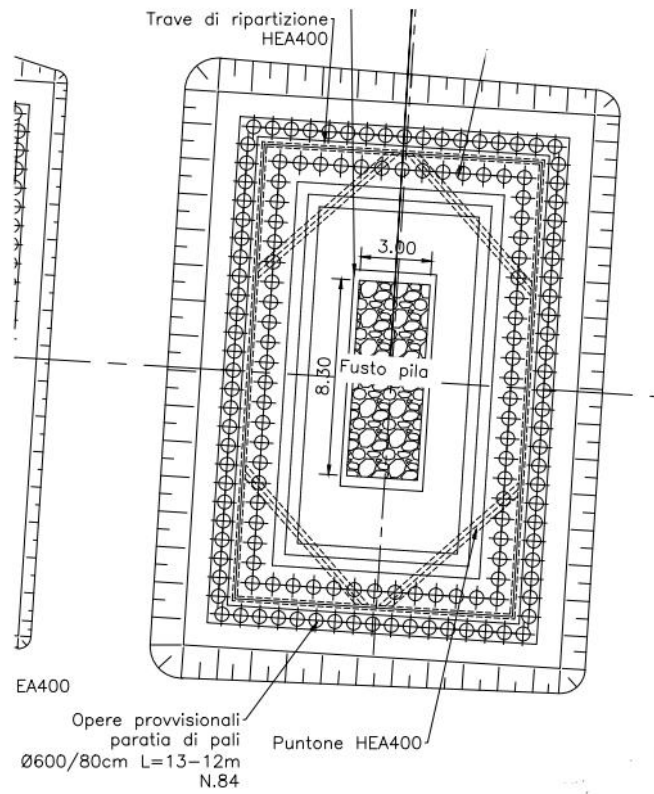


Fig. 4: pianta paratia pali D600

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. La coesione dell'Unità 1 è stata posta cautelativamente pari a 0, per l'angolo di resistenza al taglio si è invece utilizzato il valor medio. 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
	-	-
γ_t (kN/m ³)	20	19.5
ϕ' (°)	30	28
c' (kPa)	0	10
E_{op} (MPa)	50	80

Strato	Profondità da (m da p.c.)	Profondità a (m da p.c.)	Descrizione
1	0.0	6.7÷12.5	Unità 1
2	6.7÷12.5	-	Unità 2

QUOTA DELLA FALDA: 1.6÷4.8 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:

$$q_p = 30 \div 70 \text{ kPa}$$

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

Sovraccarico variabile :

$$q_{var.} = 10 \text{ kPa.}$$

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
RS6K	00	R 09 CL	VI 05 00 003	A	10 di 24

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_Y	γ_Y	1,0	1,0

4.3 Modello Di Calcolo Paratia di Pali Secanti D920

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

Data l'elevata profondità di scavo è prevista l'installazione di un livello di vincolo.

La falda è posta a 1.6 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).

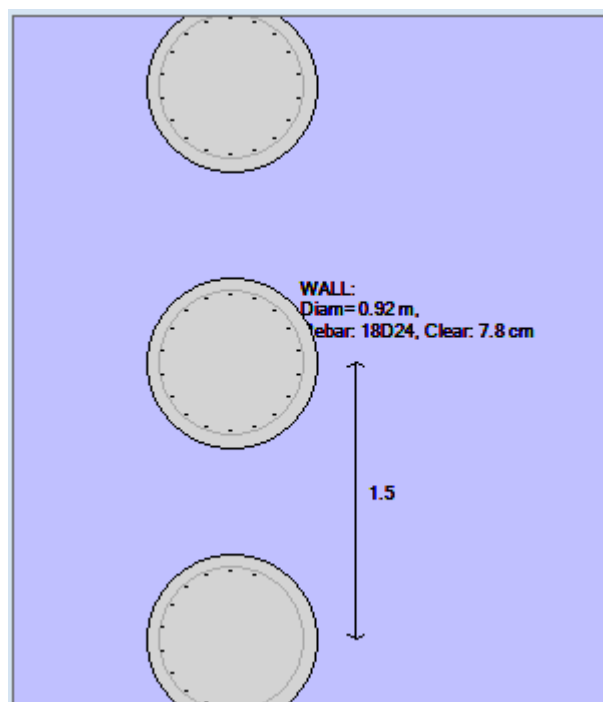


Fig. 5: geometria della paratia

La fasi di calcolo risultano:

- FASE 0): Realizzazione dei pali. A monte si considera un carico permanente di 70 kPa dovuto al terreno. La falda è posta a 1.6 m di profondità.
- FASE 1): Scavo fino alla profondità di 1.0 m al fine di consentire l'installazione del primo livello di vincolo. La falda è nella stessa posizione della fase precedente;
- FASE 2): Attivazione del primo livello di vincolo alla profondità di 0.7 m da p.c.;
- FASE 3): Scavo fino alla profondità di 5.58 m (già incrementata secondo NTC). La falda a monte è nella stessa posizione della fase precedente, mentre a valle è a fondo scavo.

Relazione di calcolo delle opere provvisionali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 09 CL	VI 05 00 003	A	12 di 24

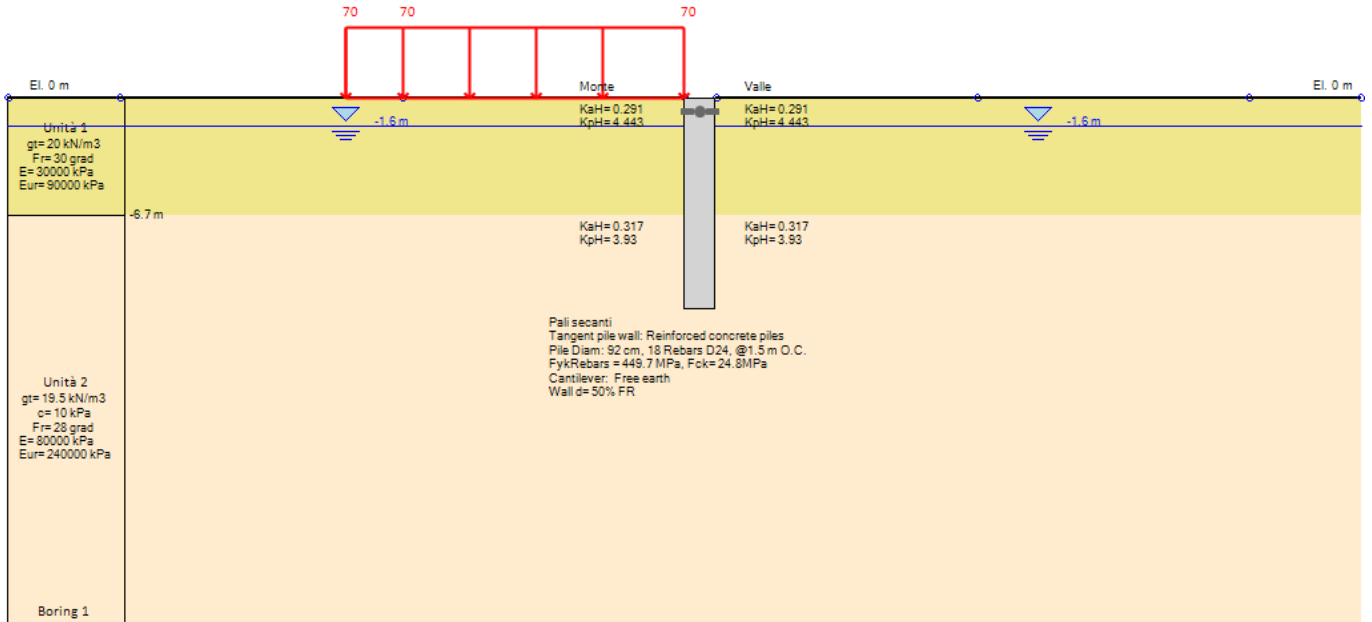


Fig. 6 –Modello di calcolo: FASE 0

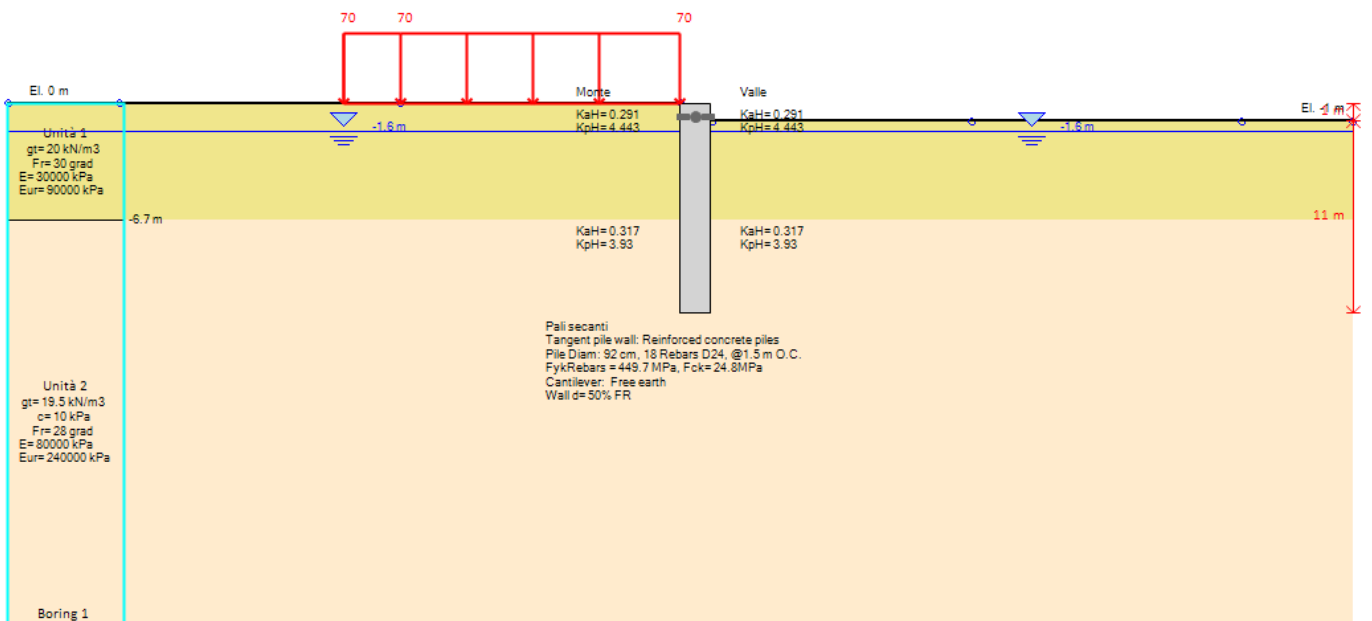


Fig. 7 –Modello di calcolo: FASE 1

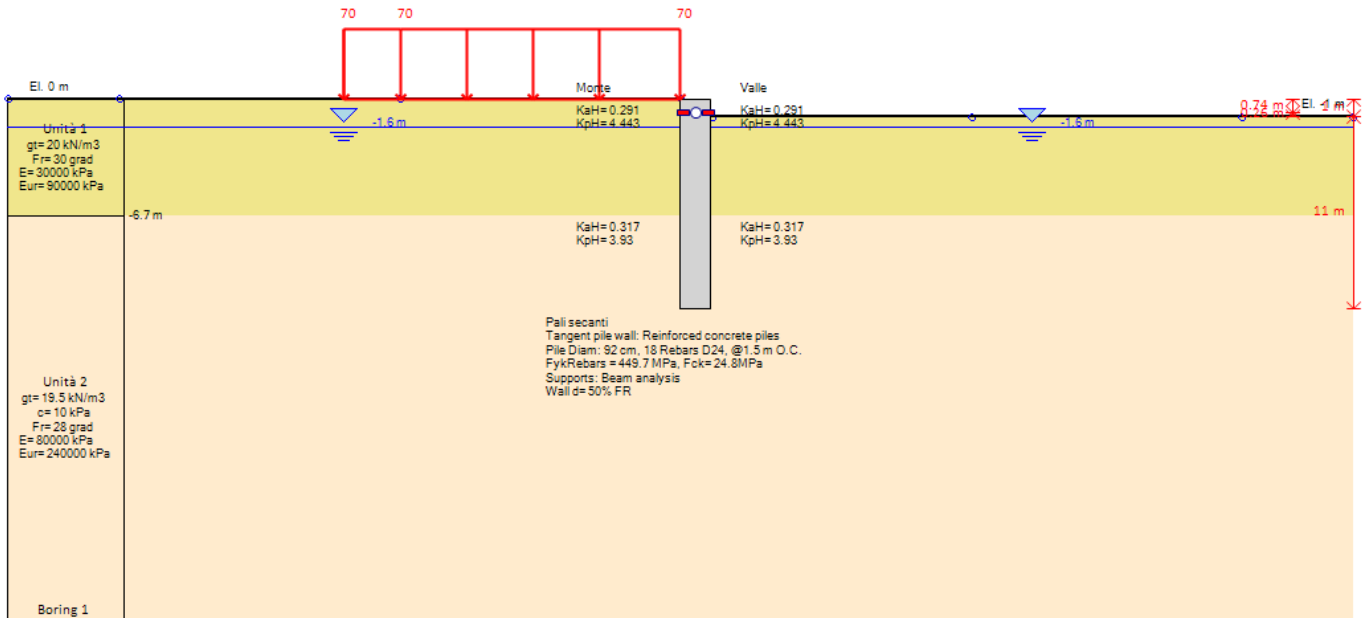


Fig. 8-Modello di calcolo: FASE 2

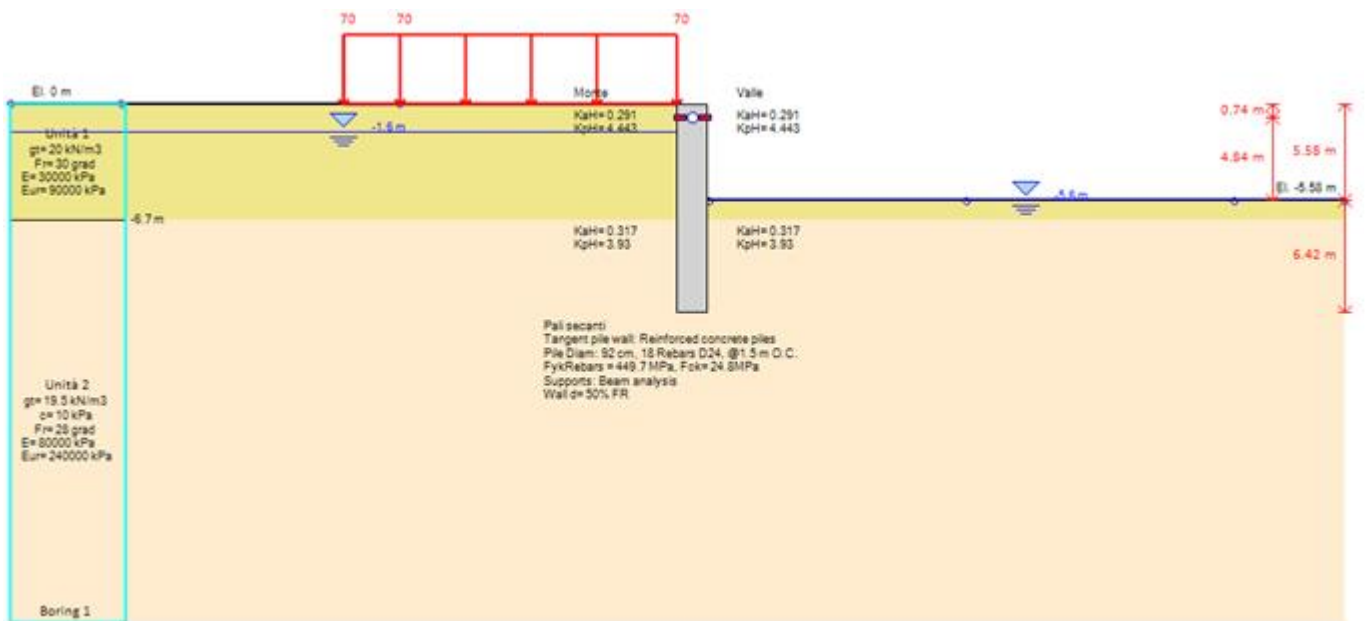


Fig. 9-Modello di calcolo: FASE 3

4.3.1 Risultati e Verifiche Paratia di Pali Secanti D920

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 6647.61 cm² I_{xx} 3516585 cm⁴

3. Armatura longitudinale

Armatura lato sx

N 18 Φ D24 A_{sx} 81.43 cm² s_x 9 cm

Armatura lato dx

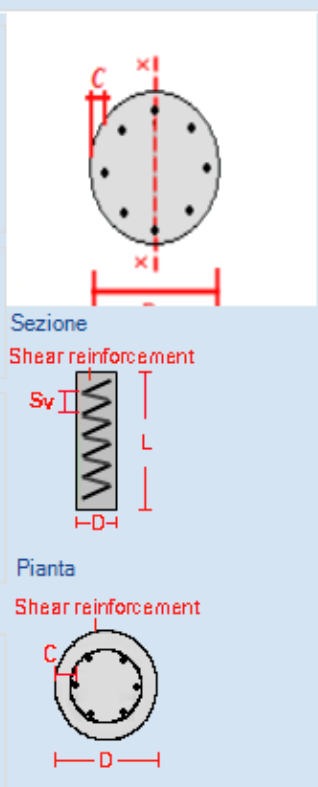
N 6 Φ D16 A_{dx} 12.066 cm² C_{dx} 7.62 cm

4. Armatura a taglio

Φ D12 Area 1.131 cm² s_V 15 cm s_H 0 cm

Armatura a spirale (Armature Φ 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).

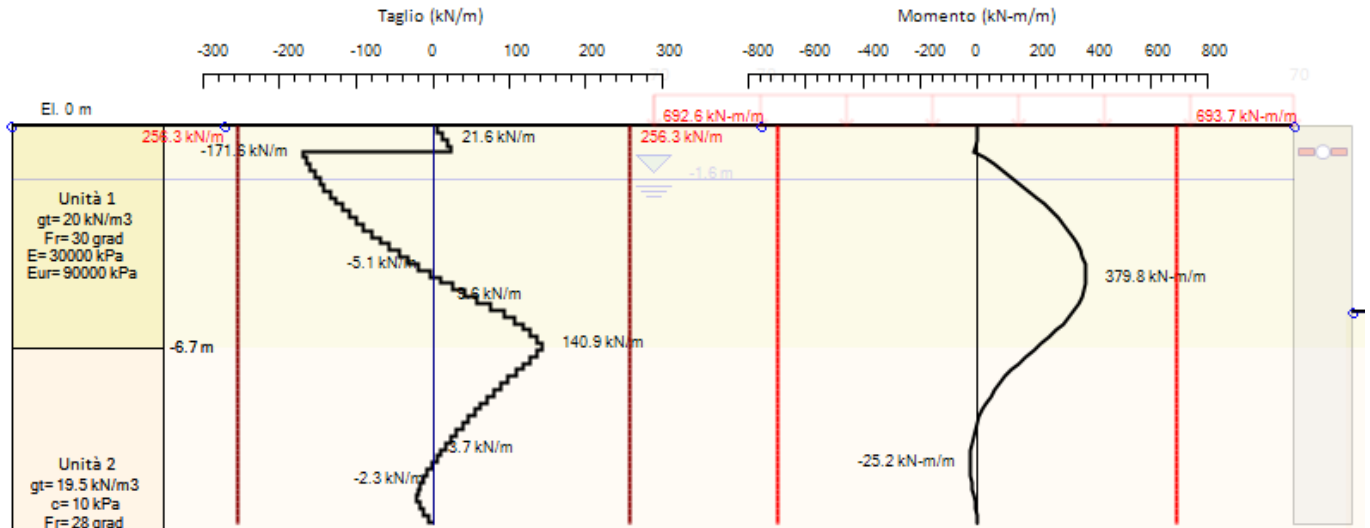


Fig. 11: Sollecitazioni e verifiche strutturali (A1+M1+R1)

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	1.25

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).

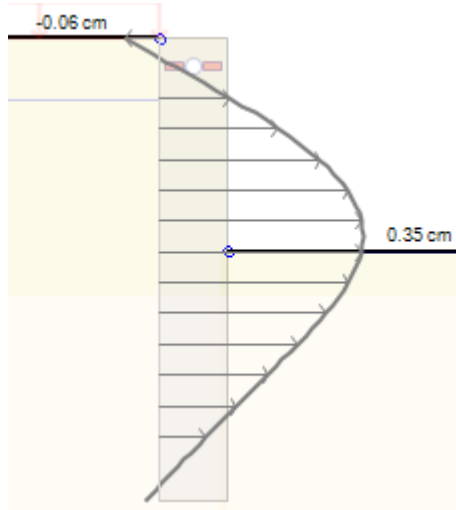


Fig. 12 –Diagramma degli spostamenti orizzontali allo SLE

Spostamento orizzontale massimo δ_{h_max} (cm)	0.35
--	------

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

4.4 Modello di calcolo paratia di Pali D600

La paratia di pali secanti è costituita da pali Ø600mm posti ad interasse 0.8m, di lunghezza 13m.

Data l'elevata profondità di scavo, è prevista l'installazione di un livello di vincolo.

La falda è posta a 4.8 m dalla testa dei pali.

Si riporta una rappresentazione schematica della configurazione geometrica.

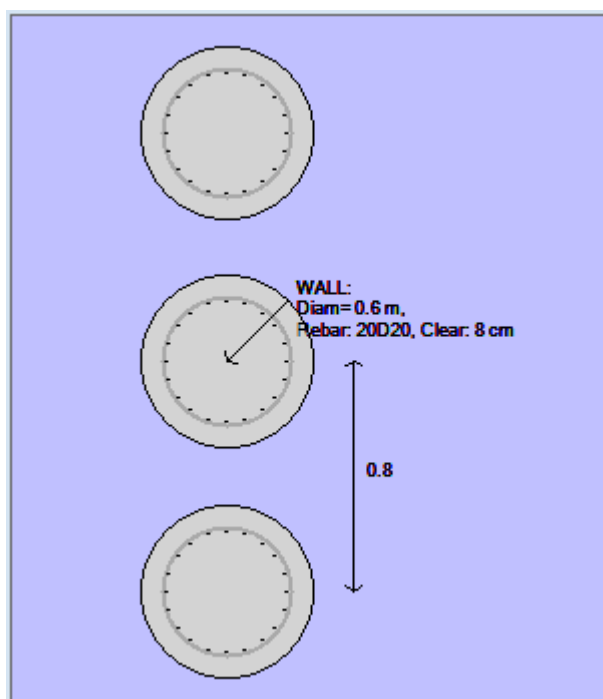


Fig. 13: geometria della paratia

La fasi di calcolo risultano:

- FASE 0): Realizzazione dei pali. A monte si considera un carico permanente di 30 kPa dovuto al terreno e un carico variabile di 10 kPa dovuto alla presenza di mezzi di cantiere. La falda è posta a 4.8 m di profondità.
- FASE 1): Scavo fino alla profondità di 1.9 m al fine di consentire l'installazione del primo livello di vincolo. La falda è nella stessa posizione della fase precedente;
- FASE 2): Attivazione del primo livello di vincolo alla profondità di 1.6 m da p.c.;
- FASE 3): Scavo fino alla profondità di 6.74 m (già incrementata secondo NTC). La falda a monte è nella stessa posizione della fase precedente, mentre a valle è a fondo scavo.

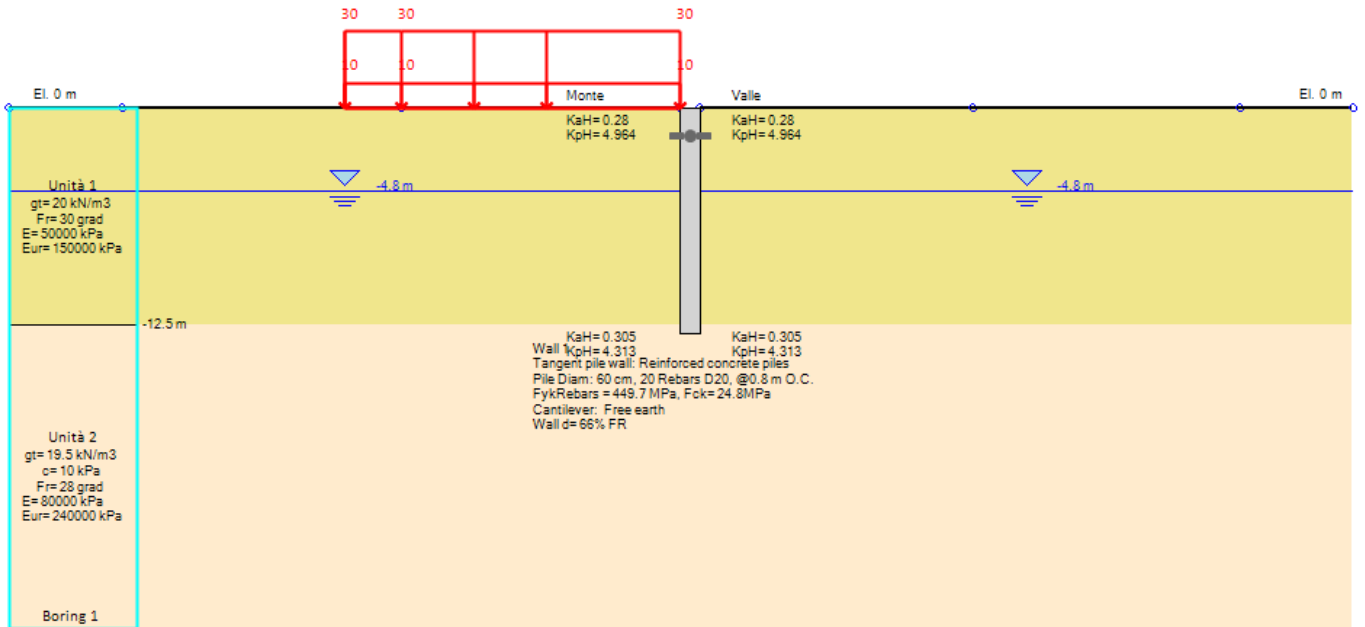


Fig. 14 - Modello di calcolo: FASE 0

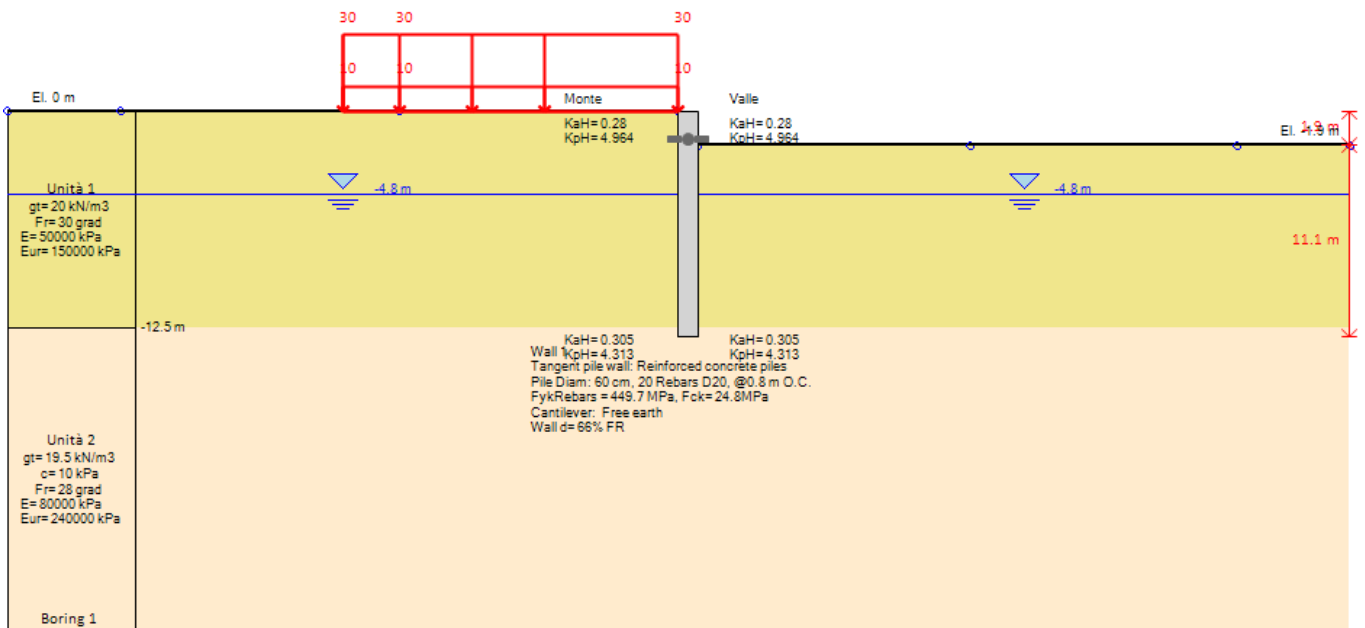


Fig. 15 - Modello di calcolo: FASE 1

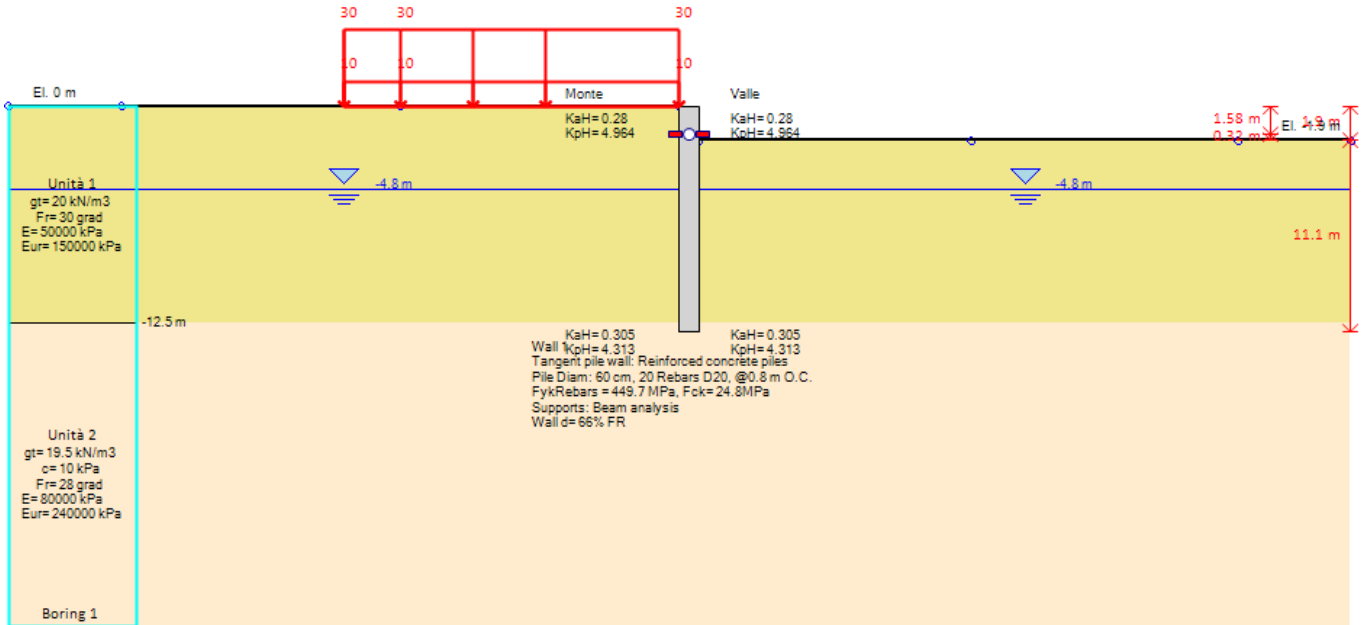


Fig. 16 - Modello di calcolo: FASE 2

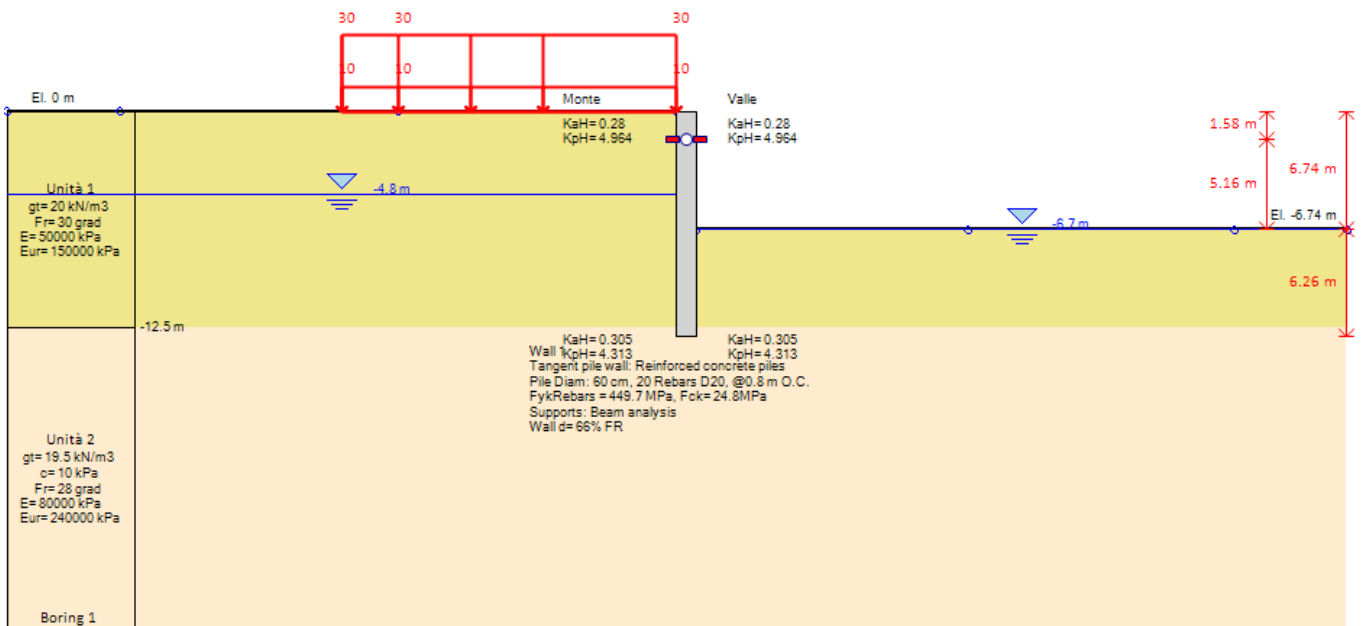


Fig. 17- Modello di calcolo: FASE 3

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.

Sezione
Armature
Layout

1. Scelta sezione

Diversifica armatura lungo la paratia

2. Dimensioni

D 60 cm A 6000 cm² I_{xx} 1800000 cm⁴

3. Armatura longitudinale

Armatura lato sx

N 20 Φ D20 A_{sx} 62.84 cm² s_x 9 cm

Armatura lato dx

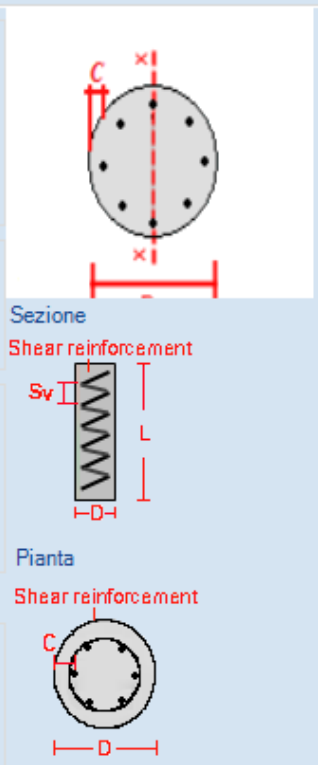
N 6 Φ D16 A_{dx} 12.066 cm² C_{dx} 7.62 cm

4. Armatura a taglio

Φ D12 Area 1.131 cm² s_V 15 cm s_H 0 cm

Armatura a spirale (Armature Φ10 per 10mm diam.)

Considera come soletta per verifica a taglio



Sezione

Shear reinforcement

Pianta

Shear reinforcement

Fig. 18: 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).

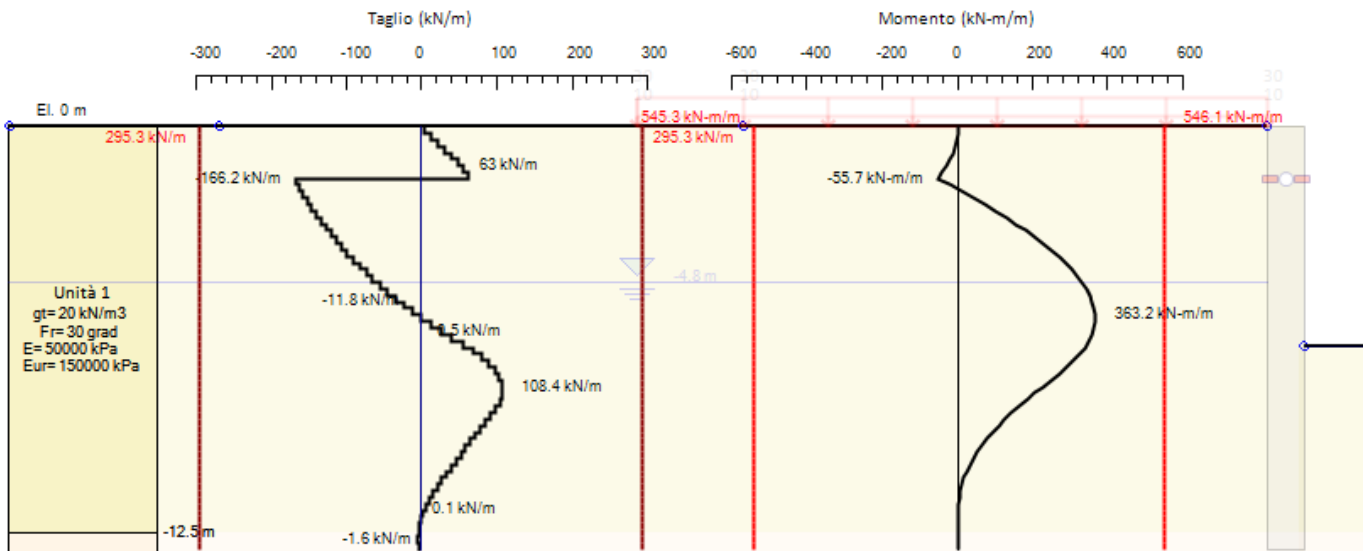


Fig. 19: Sollecitazioni e verifiche strutturali (A1+M1+R1)

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	1.24

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).

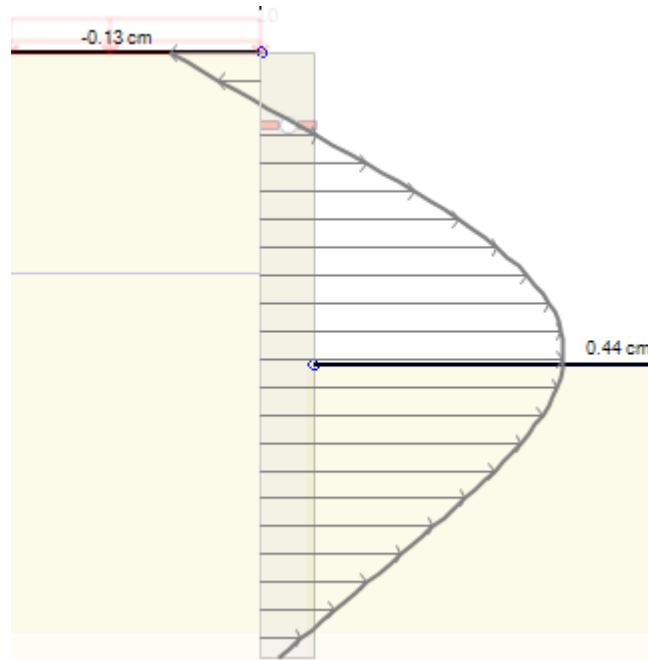


Fig. 20 –Diagramma degli spostamenti orizzontali allo SLE

Spostamento orizzontale massimo δ_{h_max} (cm)	0.44
--	------

In relazione alla provvisorialità 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, per la quale si è ritenuto opportuno prevedere uno scavo con pendenza 30°.

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
	-
γ_t (kN/m ³)	20
φ' (°)	28
c' (kPa)	5

Altezza Massima scavo: 8.0m

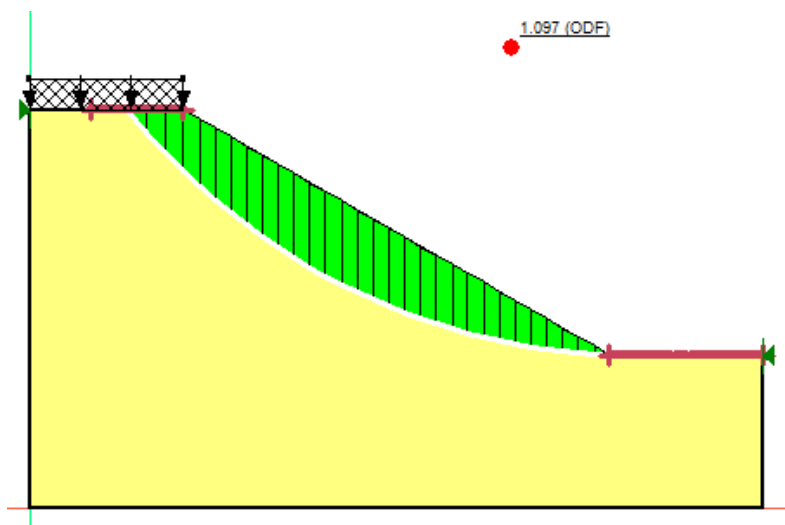


Fig. 21 –Verifica stabilità scavo

La verifica risulta soddisfatta.

6 INCIDENZA ARMATURE OOPP

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

- Incidenza pali secanti D920 = 130 kg/m³ (calcolata sul palo secondario)
- Incidenza pali D600 = 210 kg/m³
- Cordolo sommitale (BxH) 110x60 cm Incidenza =120 kg/m³