

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA
COMUNE DI TRIESTE
Dipartimento Territorio Economia Ambiente e Mobilità



PORTO VECCHIO RIQUALIFICAZIONE VIABILITÀ DI COLLEGAMENTO E
OPERE DI INFRASTRUTTURAZIONE DELL'AREA DEL POLO MUSEALE
II LOTTO - Codice opera 18028

AREA CONGRESSUALE DEL PORTO VECCHIO OPERE DI
SCARICO A MARE DELLA FOGNATURA MISTA E METEORICA

NUMERO

016

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE SPECIALISTICA
OPERE PROVVISORIALI

SCALA:

-

DATA: gennaio 2021



PROGETTISTA INCARICATO: ing. Stefano COSTANTINI

REV	DATA	OGGETTO	REDATTO	VERIFICATO
3				
2				
1	03/08/2021	Revisione per note verificatori	P.G.	S. Costantini
0	gennaio 2021	Prima emissione	A.M.	S. Costantini

Archest

architecture | engineering | infrastructure

Azienda certificata
ISO 9001 - SGS

e: info@archest.it

w: www.archest.it

Sede Legale di **Palmanova** (ud) via giustinian 31 - 33057

t: (+39) 0432.93.50.07 f: (+39) 0432.93.36.08

Sede di **Pozzuolo del Friuli** (ud) via sclauinco 7 - 33050

t: (+39) 0432.66.53.35 f: (+39) 0432.66.52.99

1 | 5 | 6 | 4

P | E

D | O

C

0 | 1 | 6

FORMATO
A4

INDICE

1	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI SCARICO 1 – LATO MARE	3
1.1	PREMESSA	3
1.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
1.3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
1.4	MODELLO DI CALCOLO	6
1.4.1	Descrizione	6
1.4.2	Rappresentazione delle fasi	7
1.4.3	Sollecitazioni e spostamenti	12
1.4.4	Verifica del palancolato allo SLU	16
1.4.5	Verifica delle travi di ripartizione allo SLU	17
1.4.6	Verifica del puntone	20
1.4.7	Verifica ancoraggio profilo su molo esistente	22
1.4.8	Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)	27
1.4.9	Verifica della resistenza del terreno	27
2	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI SCARICO 1 – LATO TERRA.....	28
2.1	PREMESSA	28
2.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	28
2.3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	29
2.4	MODELLO DI CALCOLO	30
2.4.1	Descrizione	30
2.4.2	Rappresentazione delle fasi	31
2.4.3	Sollecitazioni e spostamenti	40
2.4.4	Verifica del palancolato allo SLU	44
2.4.5	Verifica delle travi di ripartizione allo SLU	44
2.4.6	Verifica del puntone	46
2.4.7	Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)	48
2.4.8	Verifica della resistenza del terreno	48
3	VERIFICA AL SIFONAMENTO – SCARICO 1.....	49

4	RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI – SCARICO 2.....	50
4.1	PREMESSA	50
4.2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	50
4.3	DESCRIZIONE DELL'OPERA	51
4.4	SEZIONE 1 (IN ACQUA).....	56
4.4.1	Descrizione modello di calcolo	56
4.4.2	Rappresentazione delle fasi	57
4.4.3	Sollecitazioni e spostamenti	61
4.4.4	Verifica del palancolato allo SLU	65
4.4.5	Verifica delle travi di ripartizione allo SLU	66
4.4.6	Verifica del puntone allo SLU	67
4.4.7	Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)	69
4.4.8	Verifica della resistenza del terreno	69
4.5	SEZIONE 2 (CONTROTERRA TIPO 1)	70
4.5.1	Descrizione modello di calcolo	70
4.5.2	Rappresentazione delle fasi	71
4.5.3	Sollecitazioni e spostamenti	76
4.5.4	Verifica del palancolato allo SLU	80
4.5.5	Verifica delle travi di ripartizione allo SLU	81
4.5.6	Verifica del puntone allo SLU	82
4.5.7	Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)	84
4.5.8	Verifica della resistenza del terreno	84
4.6	SEZIONE 3 (CONTROTERRA TIPO 2)	85
4.6.1	Descrizione modello di calcolo	85
4.6.2	Rappresentazione delle fasi	86
4.6.3	Sollecitazioni e spostamenti	91
4.6.4	Verifica del palancolato allo SLU	95
4.6.5	Verifica delle travi di ripartizione allo SLU	96
4.6.6	Verifica del puntone allo SLU	97
4.6.7	Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)	99
4.6.8	Verifica della resistenza del terreno	99

4.7	VERIFICA AL SIFONAMENTO	100
-----	-------------------------------	-----

1 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI SCARICO 1 – LATO MARE

1.1 PREMESSA

La presente relazione tecnica strutturale ha per oggetto la realizzazione di un palancolato lato mare a protezione del cantiere (opera temporanea), da effettuarsi a Trieste (TS).

1.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto delle strutture verrà eseguito in conformità alle seguenti norme:

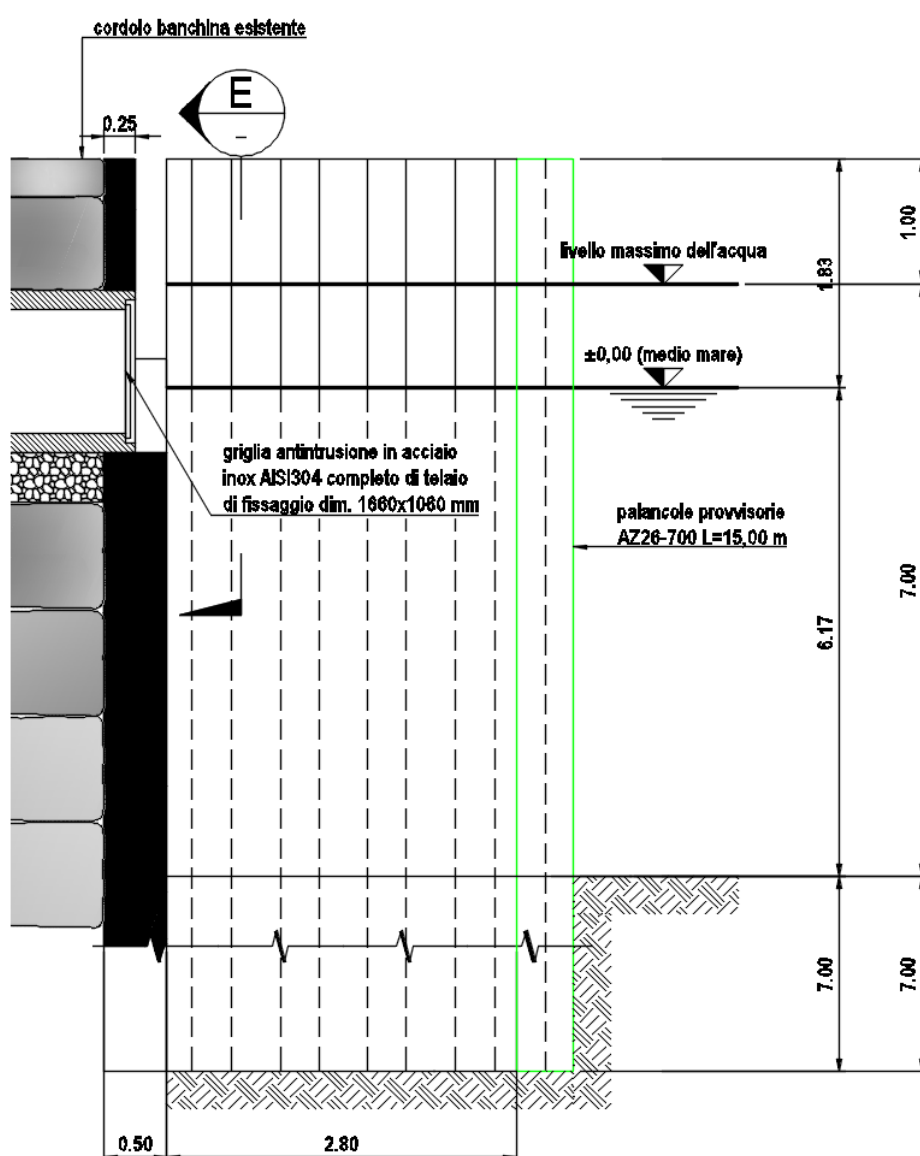
- D.M. 17 Gennaio 2018 : “Norme Tecniche per le Costruzioni ”
- Circolare 21 Gennaio 2019, n° 7/C.S.LL.PP

1.3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

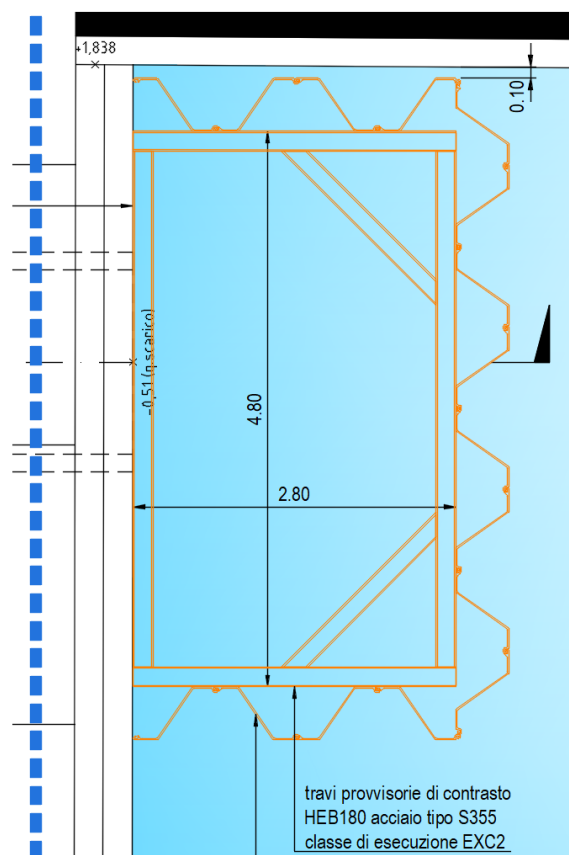
Vengono utilizzate palancole AZ26-700 di lunghezza $L=15\text{m}$, infisse nel terreno per circa 7.00metri. Ai fini del calcolo si considera il livello dell'acqua sul lato esterno (lato mare) fino ad 1.00m sotto la sommità del palancoolato, mentre sul lato interno (lato molo) non viene prevista spinta dell'acqua.

Sono previsti puntelli a due quote:

- la prima in testa alla paratia;
- la seconda ad una quota di -2m rispetto al livello massimo dell'acqua (-3.00m rispetto alla sommità della paratia).



Pianta intervento



I puntelli e le travi perimetrali di contrasto vengono realizzati con HEB180 in acciaio S355.

Le caratteristiche statiche delle palancole tipo AZ26-700 (realizzate in acciaio S275) sono le seguenti:

Sezione	Dimensioni				Il peso		Momento d'inerzia	Modulo di sezione
	b	h	t	s				
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m ²	cm ⁴ /m	cm ³ /m
AZ 26-700	700	460	12,2	12,2	102,9	146,9	59 720	2 600

Le fasi di realizzazione dell'opera sono le seguenti:

- posizionamento palancole;
- realizzazione dei puntelli in testa palancole;
- abbassamento livello acqua interno fino a quota -4m rispetto alla sommità della palanca (dislivello acqua interno/esterno pari a circa 3.00metri);
- realizzazione del secondo livello di puntelli (a quota -3m rispetto alla sommità della palanca);
- abbassamento livello acqua interno fino al terreno (dislivello acqua interno/esterno pari a circa 7.00metri).

1.4 MODELLO DI CALCOLO

1.4.1 Descrizione

Il calcolo dell'opera viene svolto mediante il software "Paratie Plus", che consente di:

- schematizzare la geometria dell'opera, introdurre i carichi e i vincoli opportuni;
- introdurre le caratteristiche del terreno, che viene schematizzato come suolo elastico alla Winkler.

La parete utilizzata nel modello di calcolo rappresenta la palancola, mentre i vincoli rappresentano le opere di contrasto. Le spinte dell'acqua (sia interna che esterna) vengono modellate come carichi triangolari sulla parete.

Il modello di calcolo consente di creare delle fasi, per ciascuna delle quali vengono definiti e attivati carichi e vincoli esterni. In particolare viene creata una fase per ogni abbassamento pari ad un metro del livello dell'acqua lato interno (definendo quindi una diversa spinta dell'acqua sulla paratia lato interno ed un diverso carico verticale dell'acqua stessa). Viene creata inoltre una fase (fase 5_) nella quale si attiva il vincolo intermedio, posto nell'istante corretto di livello falda lato interno.

Nota: nel modello di calcolo è stata definita quota $\pm 0.00\text{m}$ la quota massima del livello del mare.

Stratigrafia

Vengono utilizzati i seguenti parametri (desumibili dalla relazione geologica per gli strati nei quali viene posizionata la palancola):

$$\gamma = 20 \text{ kN/mq}$$

$$\varnothing = 22^\circ$$

Combinazioni di carico

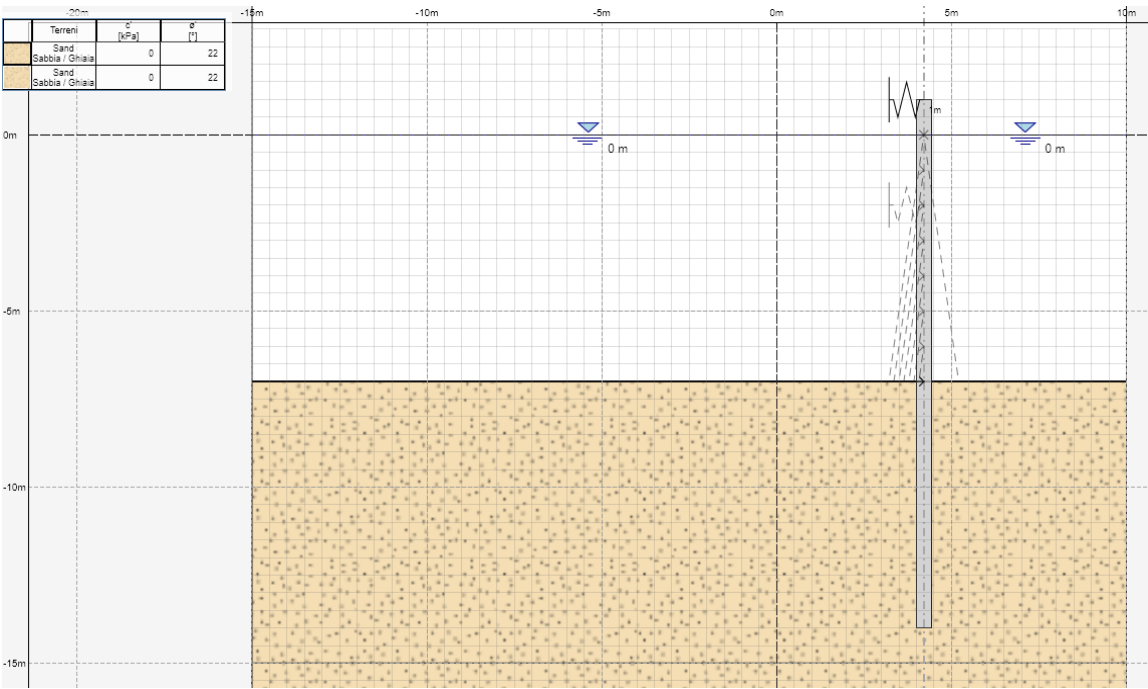
I carichi agenti sulla paratia vengono combinati generando tutti gli Approcci normativi previsti dal DM 17/01/18 per le paratie.

Si specifica che tale opera è temporanea. Non verranno quindi considerate le azioni sismiche.

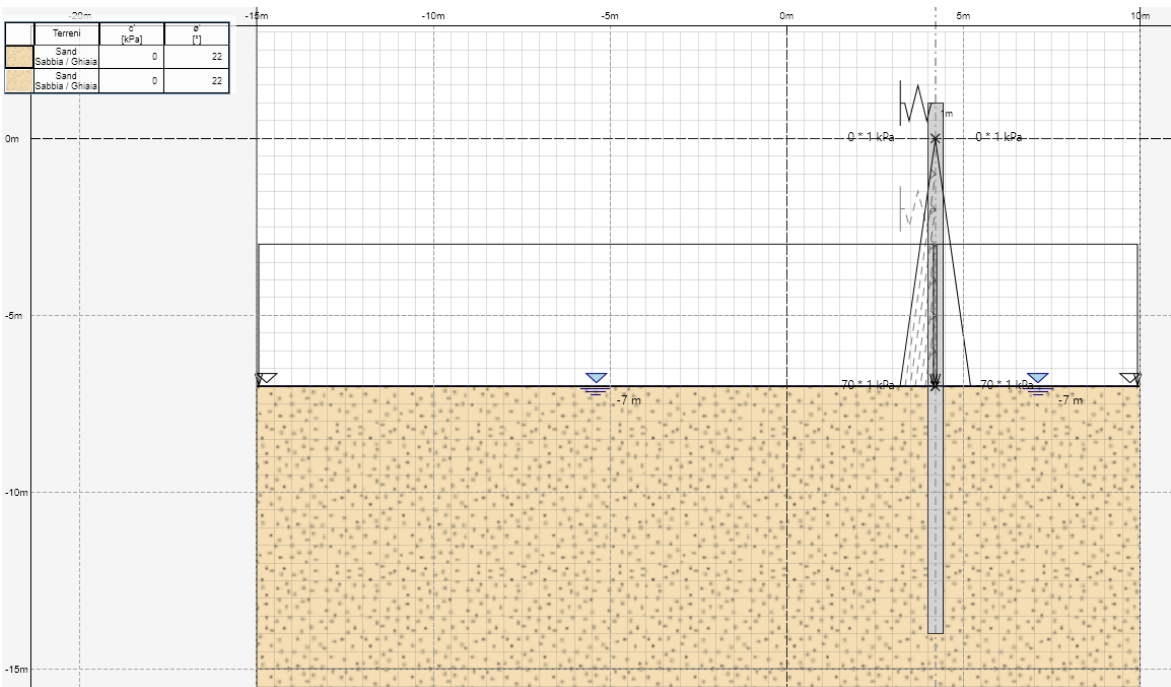
1.4.2 Rappresentazione delle fasi

Nelle immagini seguenti gli elementi tratteggiati (vincoli e carichi) non sono attivi nelle rispettive fasi.

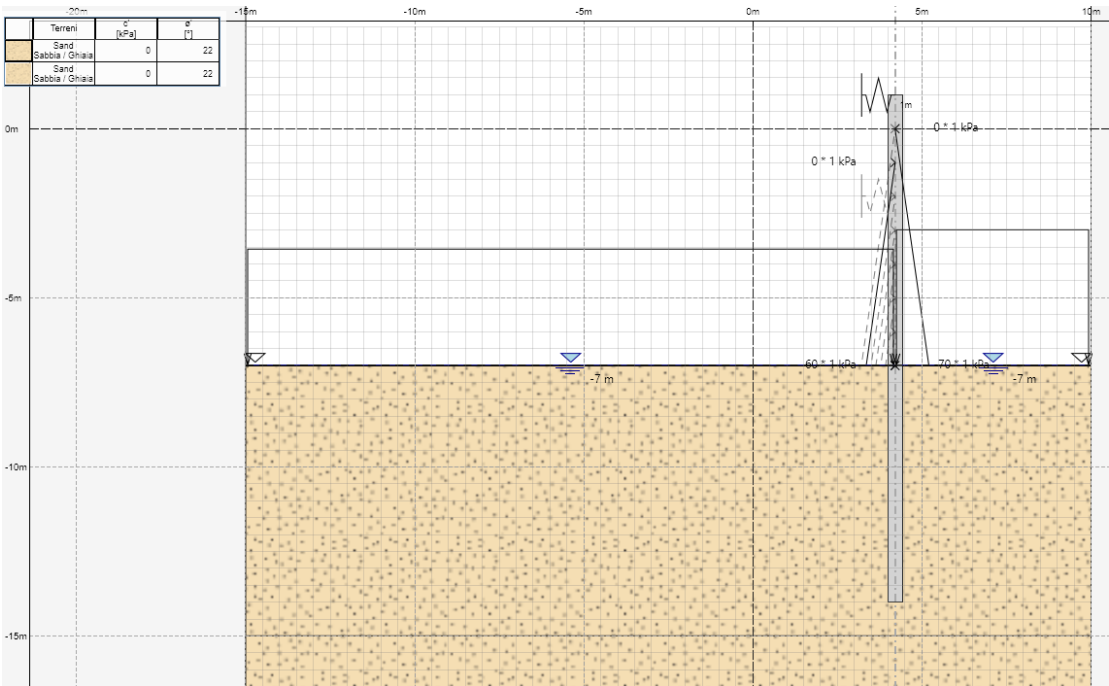
Stage 1



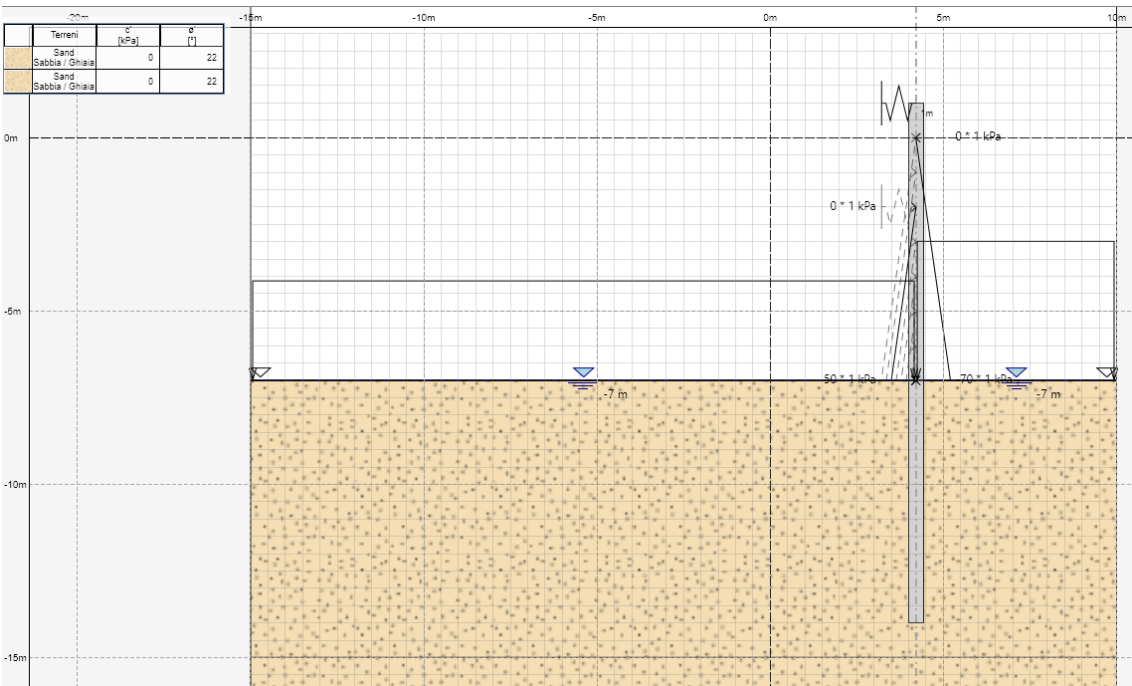
Stage 2



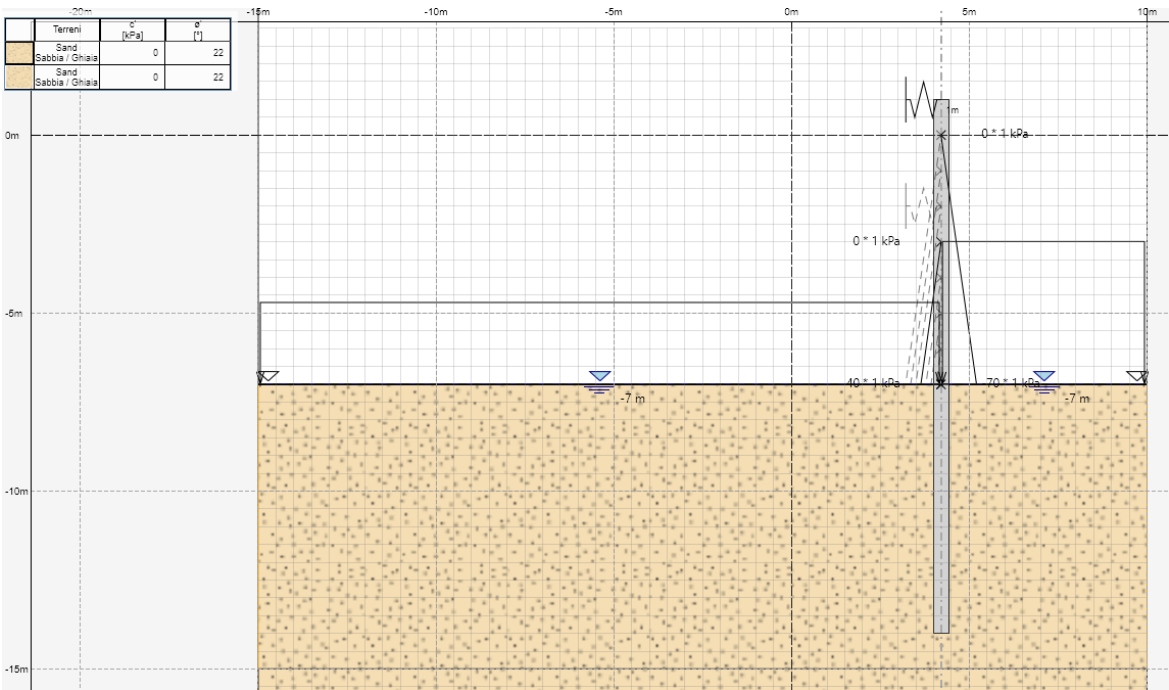
Stage 3



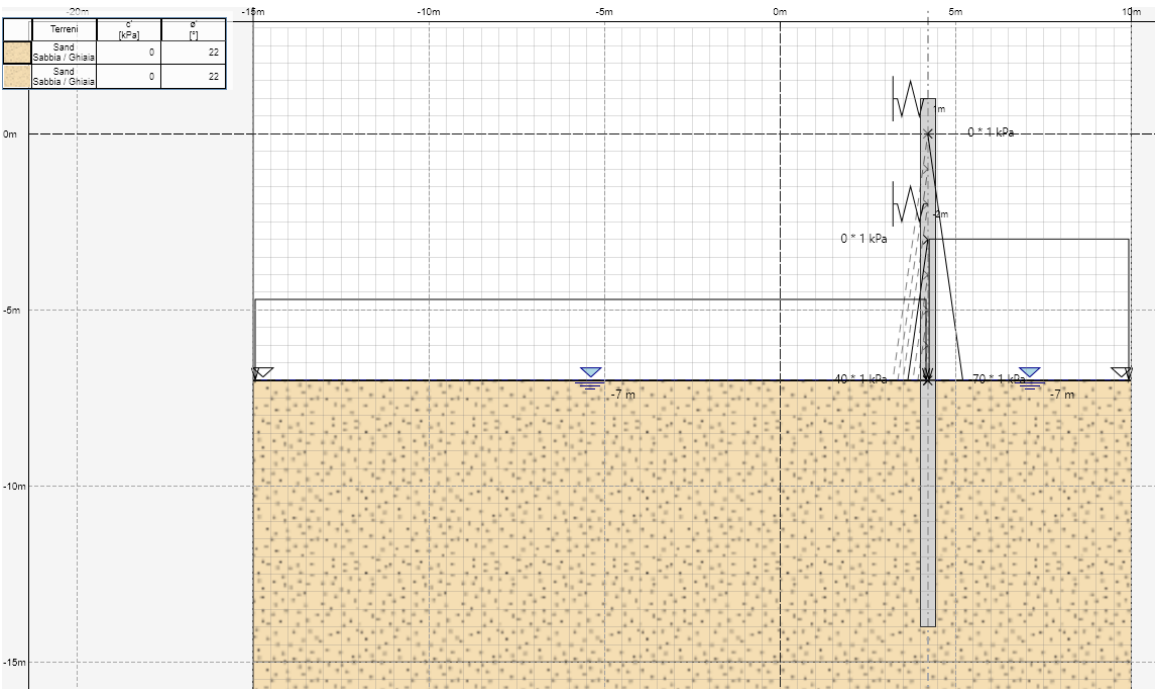
Stage 4



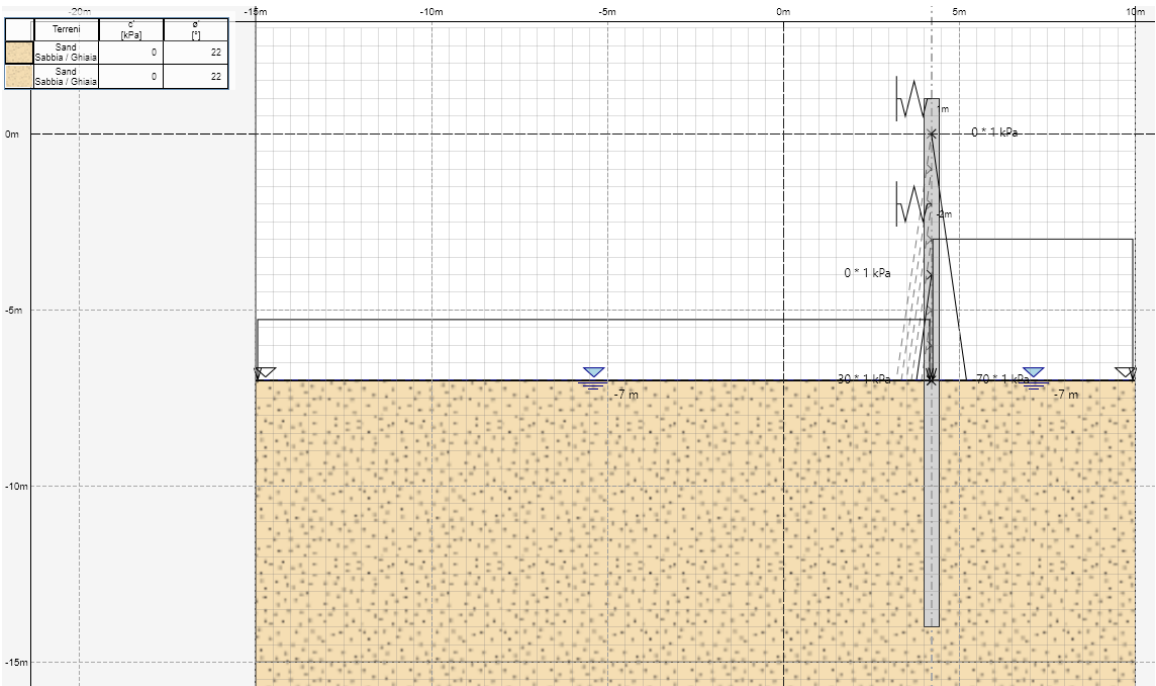
Stage 5



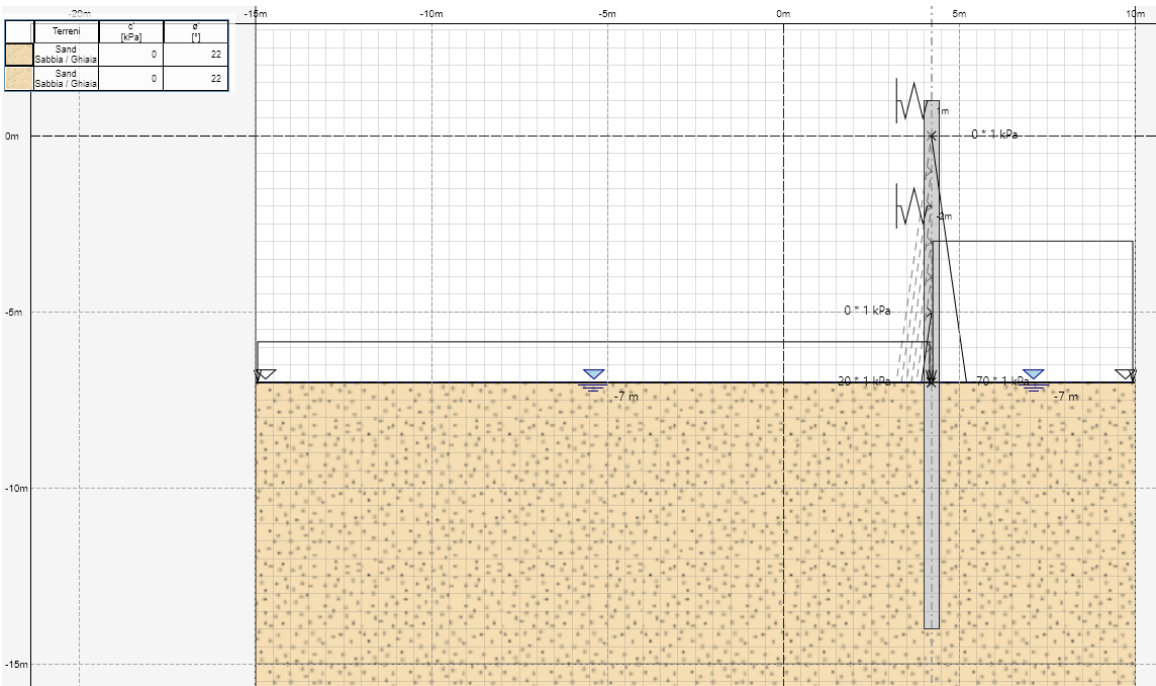
Stage 5-



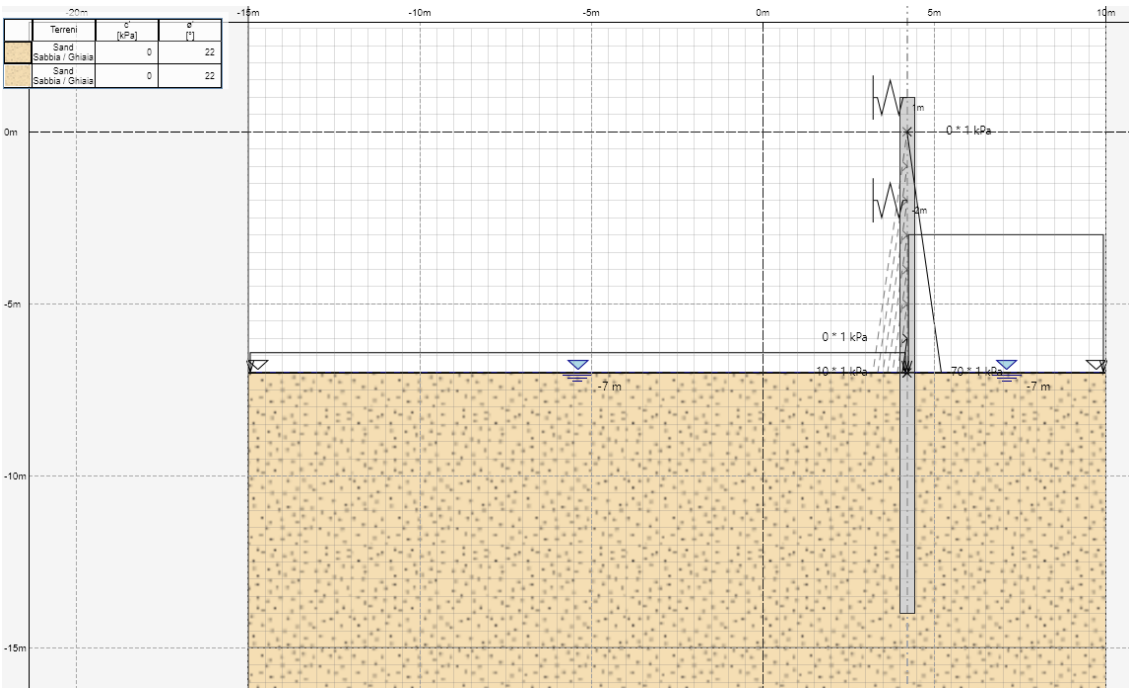
Stage 6



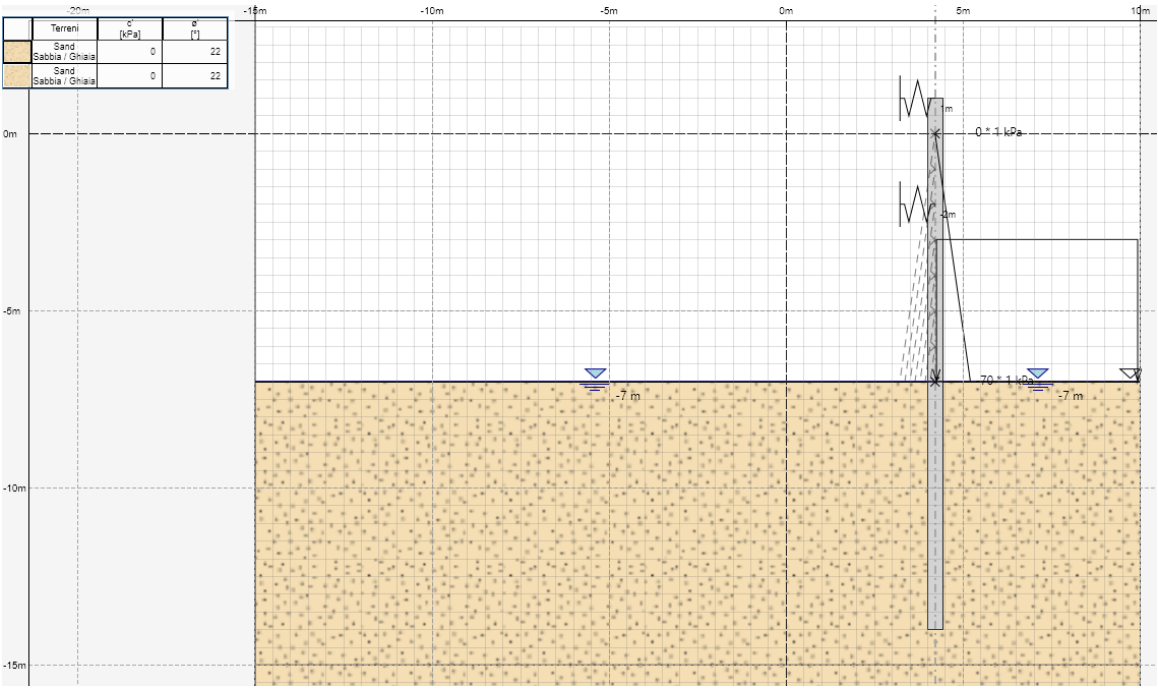
Stage 7



Stage 8



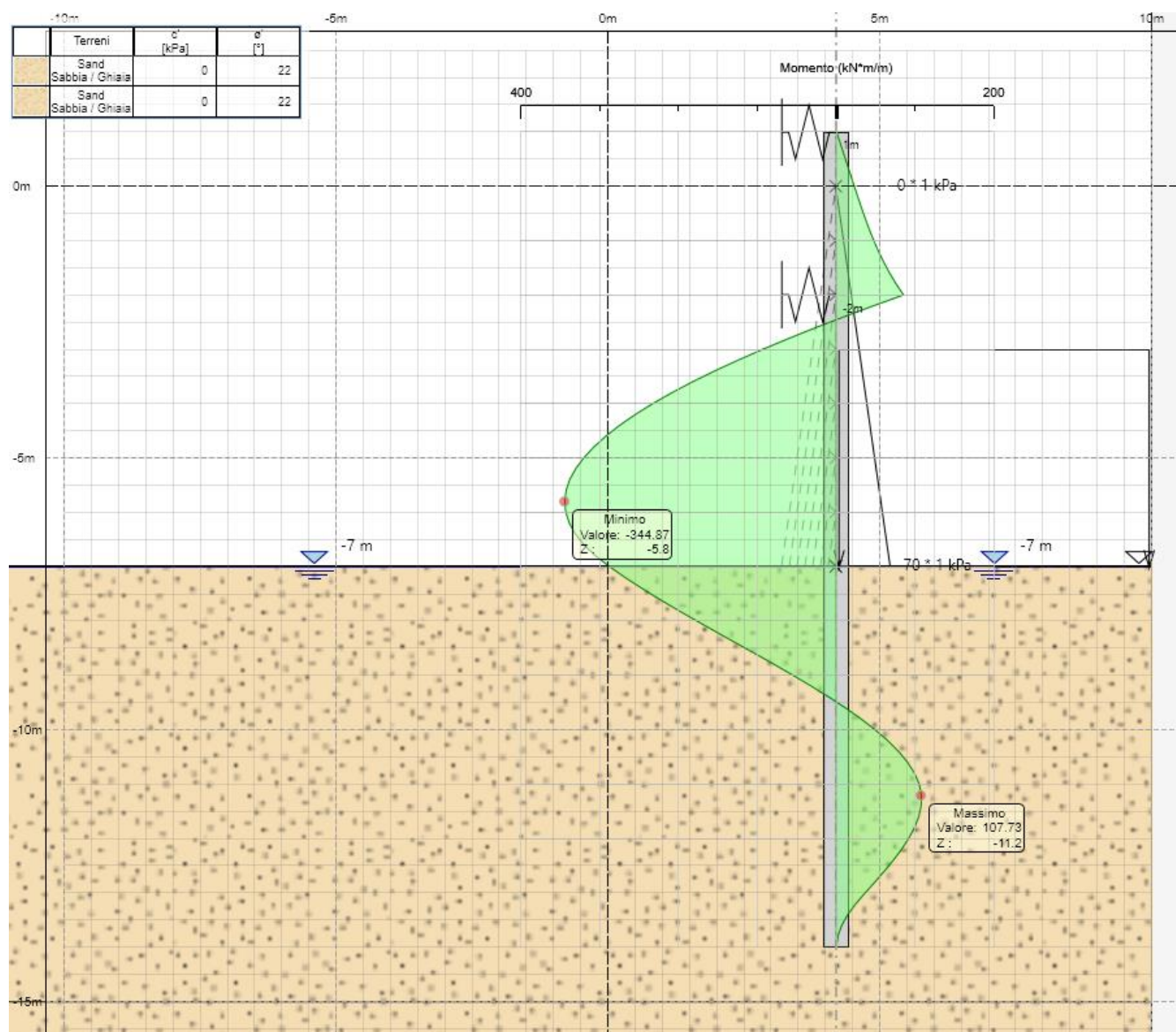
Stage 9



1.4.3 Sollecitazioni e spostamenti

Momento flettente [kNm/m] – (A1+M1+R1)

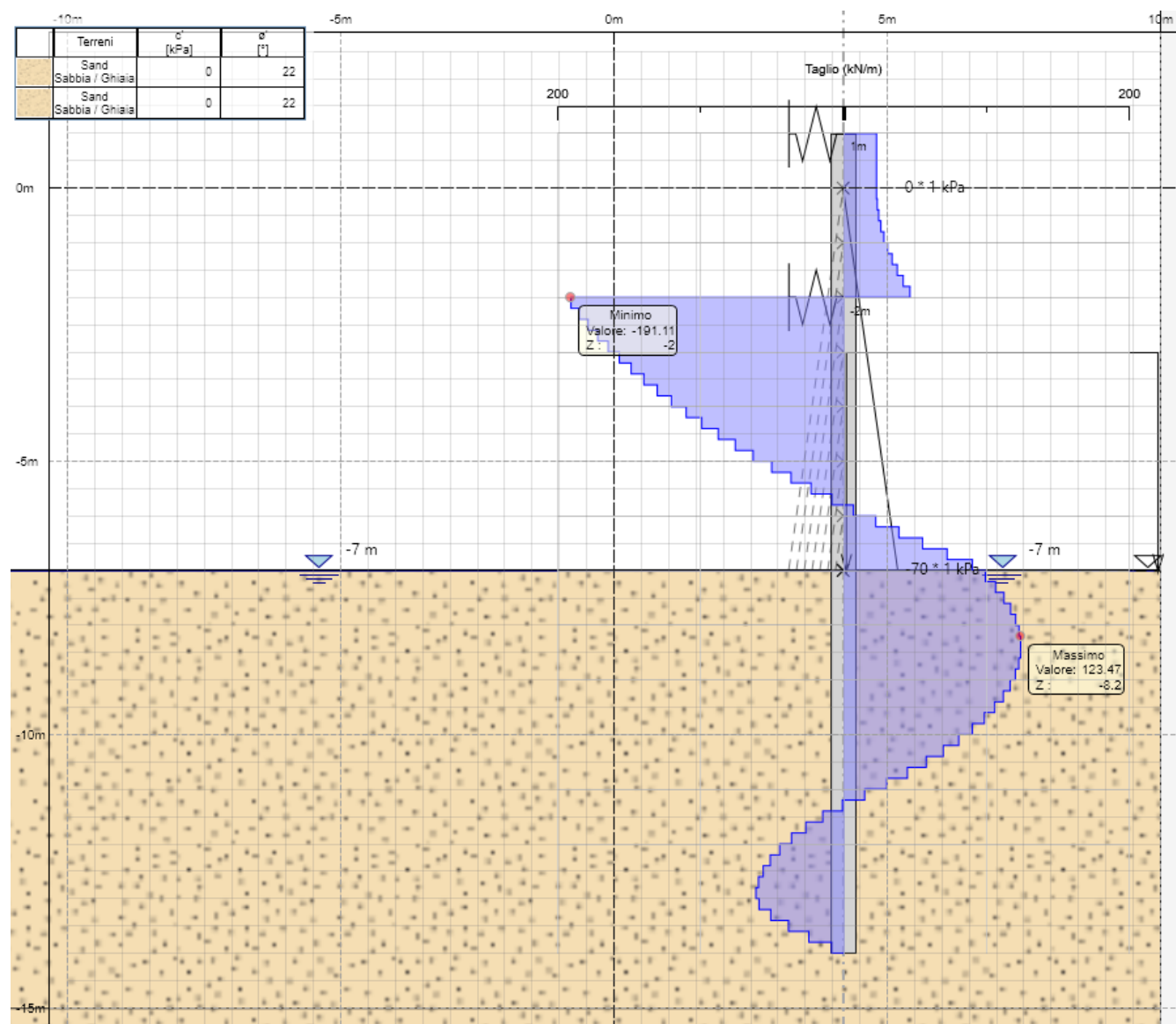
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



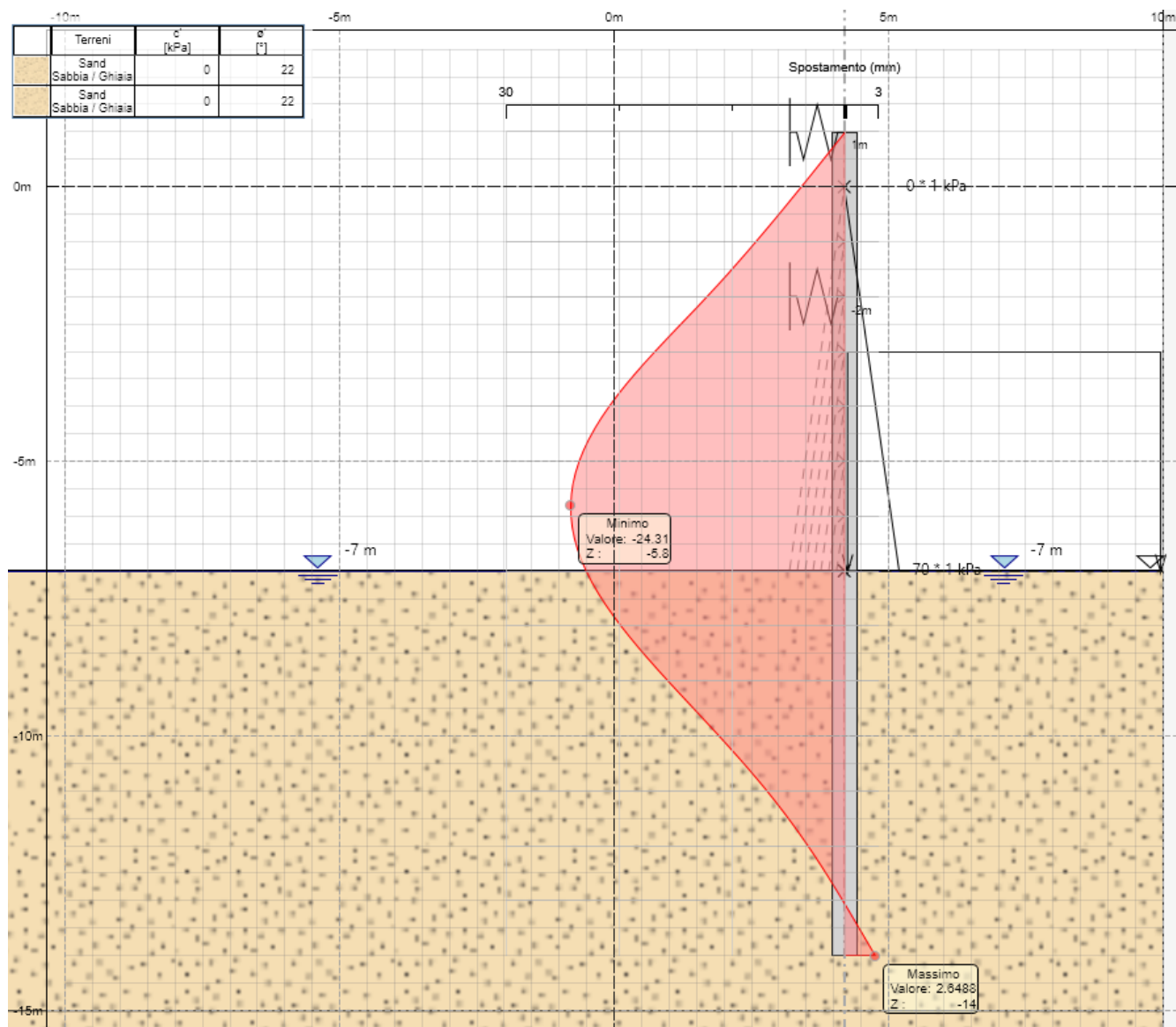
$$M_{Sd,max} = 345 \text{ kNm/m}$$

Taglio [kN/m] – (A1+M1+R1)

Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



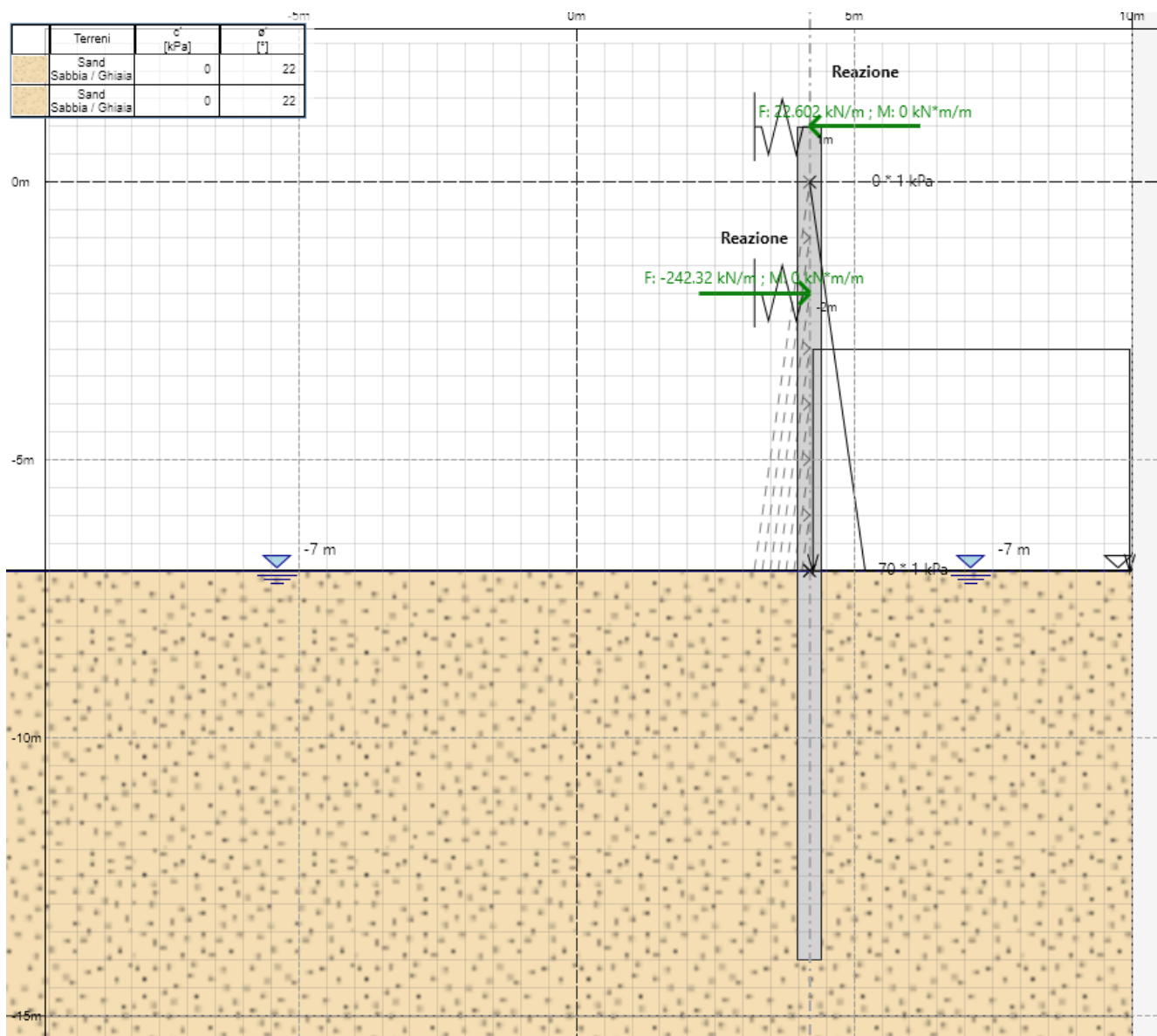
$$V_{Sd,max} = 191 \text{ kN/m}$$

Inviluppo spostamenti [mm] – Stato Limite di Esercizio (RARA)

$$\delta_{\max} = 24.3 \text{ mm}$$

Reazioni vincolari sistema di contrasto [kN/m] – (A1+M1+R1)

Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa per il puntone superiore).



$$F_{Sd} = 242 \text{ kN/m}$$

1.4.4 Verifica del palancolato allo SLU

Le caratteristiche statiche di un metro lineare di paratia valgono:

Area: $A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$
Momento d'inerzia: $J = 59720 \text{ cm}^4/\text{m}$
Modulo di resistenza elastico: $W = 2600 \text{ cm}^3/\text{m}$.

Le sollecitazioni del modello di calcolo si riferiscono ad un metro lineare di sezione.

Momento flettente agente: $M_{Ed} = 345 \text{ kNm/m}$
Taglio agente: $V_{Ed} = 191 \text{ kN/m}$

Tensione sul profilo:

$$\sigma = M/W = 345 \times 10^6 \text{ Nmm} / (2600 \times 10^3 \text{ mm}^3) = 133 \text{ MPa}$$

$$\tau = V/A = 191 \times 10^3 \text{ N} / 18700 \text{ mm}^2 = 10.2 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tensione ideale: } \sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 134 \text{ Mpa} < f_{yk}/\gamma_s = 240/1.05 = 228 \text{ MPa}$$

La verifica è soddisfatta

1.4.5 Verifica delle travi di ripartizione allo SLU

Viene utilizzato un profilo HEB180 in acciaio S355.

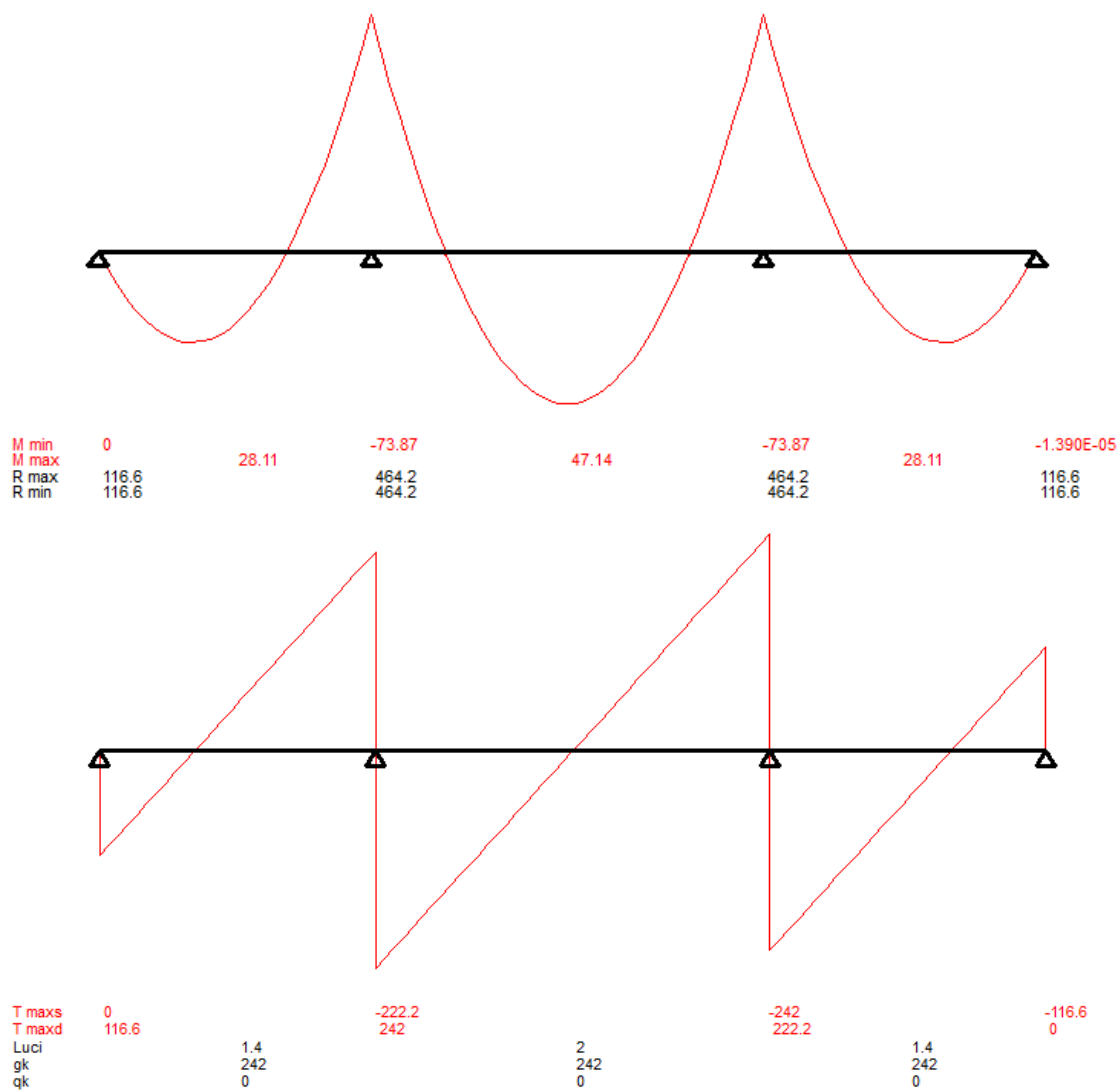
Si considerano due casi:

- trave su quattro appoggi con le seguenti luci: 1.40+2.00+1.40m
- trave su tre appoggi con le seguenti luci: 1.40+1.40m

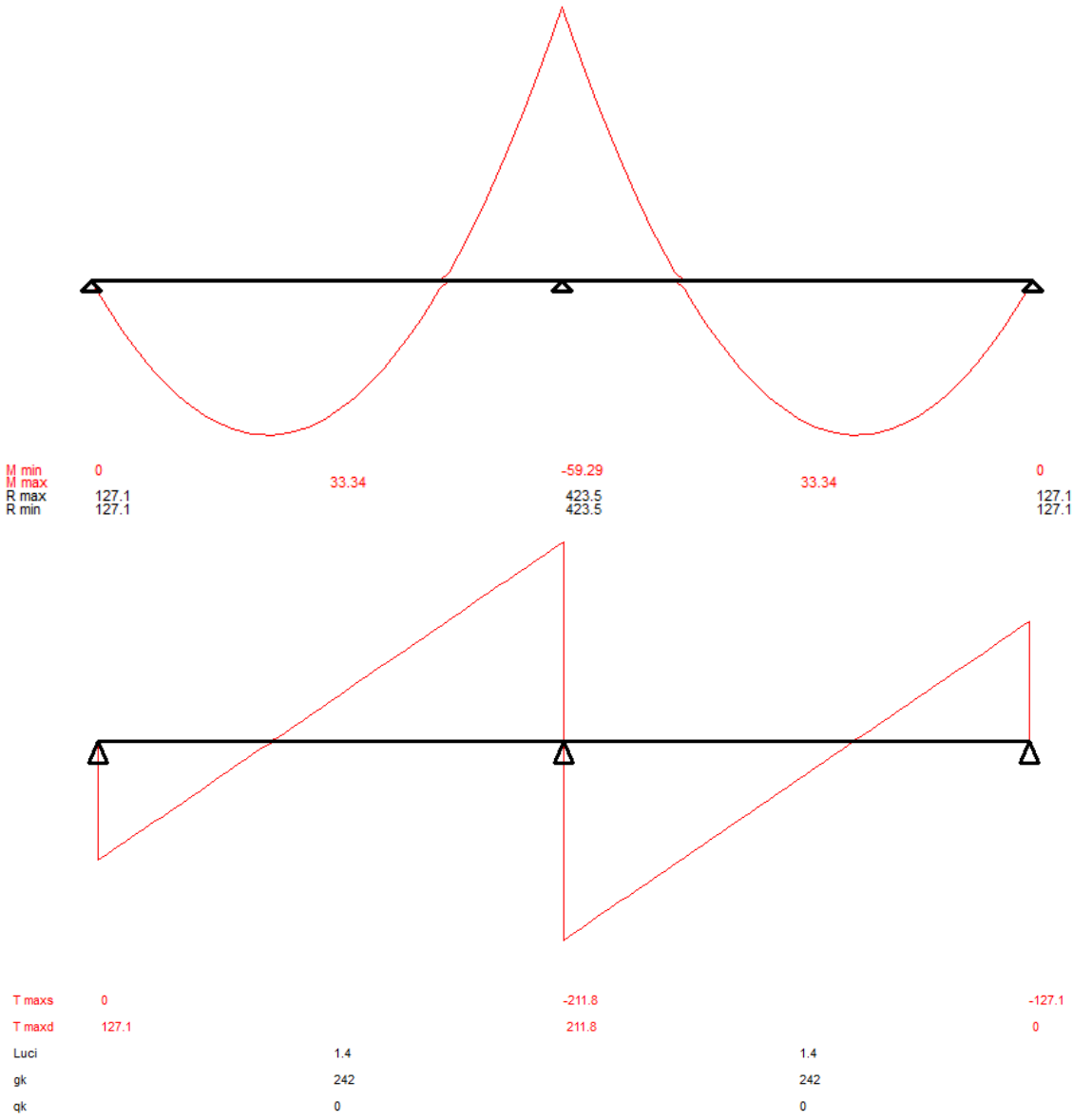
Si considerano il seguente carico:

- carico uniformemente distribuito pari a 242 kN/m

CASO A:



CASO B:



Si riporta di seguito la verifica delle travi di ripartizione considerando le massime sollecitazioni calcolate precedentemente (momento flettente e taglio all'appoggio intermedio configurazione A)

SOLLECITAZIONI M_y 74.00 kN*m M_z 0.00 kN*m T_y 242 kN T_z 0 kN N 0 kN		Membratura principale	
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE Tipo: L H HE 180 B h 180 mm b 180 mm t_w 8.5 mm t_f 14 mm r_1 14 mm p_y 7.66 cm p_z 4.57 cm J_y 3831 cm ⁴ J_z 1363 cm ⁴ $W_{y_{el}}$ 426 cm ³ $W_{y_{pl}}$ 481 cm ³ $W_{z_{el}}$ 151 cm ³ $W_{z_{pl}}$ 231 cm ³ A 65.30 cm ² A_v 20.01 cm ² A_{net} 65.30 cm ²		CARATTERISTICHE MATERIALE Acciaio S355 f_{yk} 355 MPa f_{tk} 510 MPa γ_{M0} 1.05 γ_{M1} 1.05 γ_{M2} 1.25 f_{yd} 338 MPa E 210000 MPa $n. \text{ fori} =$ 0 $d. \text{ fori} =$ 0 mm $sp. \text{ foro} =$ 0 mm	0
VERIFICHE A FLESSIONE DEVIATA		Calcolo: PLASTICO	
$M_{cRdy} =$ 162.76 kNm $M_{cRdz} =$ 78.10 kNm $M_y/M_{pRdy} + M_z/M_{pRdz}$ 0.45 \leq 1		$= w_y f_{yk}/\gamma_{M0}$ $= w_z f_{yk}/\gamma_{M0}$	OK
VERIFICHE A TAGLIO			
$V_{c,Rd} =$ 390.59 kN		$>$ V	OK $= A_v f_{yk}/((3^0,5)\gamma_{M0})$
VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO			
verifica necessaria: taglio di calcolo superiore alla metà del taglio resistente			
$\rho =$ 0.06 $f_{yk_rid} =$ 334.70 Mpa $A_v =$ 20.01 cm ² $M_{y,Rid} =$ 153.45 kNm $M_{y,V,Rd} =$ 160.48 kNm VERIFICA 0.48			

1.4.6 Verifica del puntone

Viene utilizzato un puntone HEB180 in acciaio S355, di lunghezza massima 2.00m.

La reazione massima negli schemi precedentemente riportati è pari a 464 kN; considerando che il puntone risulta inclinato a 45° rispetto alla sollecitazione, sul puntone risulta:

$$N_{Sd} = 464 \text{ kN} / (\sqrt{2})^{0.5} = 328 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 464 \text{ kN} / (\sqrt{2})^{0.5} = 328 \text{ kN}$$

Gli elementi vengono saldati tra loro.

SOLLECITAZIONI		Membratura	
M_y	0.00 kN*m	principale	
M_z	0.00 kN*m		
T_y	328 kN		
T_z	0 kN		
N	328 kN	ASTA COMPRESSA	

CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355
h	180 mm	f_{yk}	355 MPa
b	180 mm	f_{tk}	510 MPa
t_w	8.5 mm	γ_{M0}	1.05
t_f	14 mm	γ_{M1}	1.05
r_1	14 mm	γ_{M2}	1.25
ρ_y	7.66 cm	f_{yd}	338 MPa
ρ_z	4.57 cm	E	210000 MPa
J_y	3831 cm ⁴	n. fori=	0
J_z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm
$W_{y_{el}}$	426 cm ³	sp.foro=	0 mm
$W_{y_{pl}}$	481 cm ³		
$W_{z_{el}}$	151 cm ³		
$W_{z_{pl}}$	231 cm ³		
A	65.30 cm ²		
A_v	20.01 cm ²		
A_{net}	65.30 cm ²		

Limitazione snellezza (§4.2.4.1.3.1 NTC18)		Verifica	
L_{0y}/r_z	44 < 200	OK	
L_{0z}/r_y	26 < 200	OK	

VERIFICA A COMPRESSIONE				
$N_{c,Rd}$	2207.76 kN	>	N	OK = $A f_{yk} / \gamma_{M0}$

VERIFICHE A TAGLIO				
$V_{c,Rd}$	390.59 kN	>	V	OK = $A_v f_{yk} / ((3^{0.5}) \gamma_{M0})$

VERIFICHE DI INSTABILITA' A COMPRESSIONE				
STABILITA' DELLE MEMBRATURE - ASTE COMPRESSE				
§4.2.1.3.1 NTC18				
N _{cr,y}	19850.49 kN	$\pi^2 E J_y / l_{0z}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse y-y)	
N _{cr,z}	7062.44 kN	$\pi^2 E J_z / l_{0y}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse z-z)	
λ _y	0.34	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$		
λ _z	0.57			
α	0.49	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$		
Φ _y	0.59			
Φ _z	0.76	$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$		
χ _y	0.93			
χ _z	0.80	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$		
χ _{min}	0.80			
N _{b,Rd}	1769.12 kN			
N _{Ed} /N _{b,Rd}	0.19	<	1	Verifica OK

1.4.7 Verifica ancoraggio profilo su molo esistente

Nello stage finale il sistema di contrasto superiore risulta teso.

La sollecitazione al metro è pari a: 22.6 kN/m.

Su ogni singola piastra risulta: $N_{Sd} = 22.6 \text{ kN/m} \cdot 4.8\text{m}/2 = 54.3 \text{ kN}$

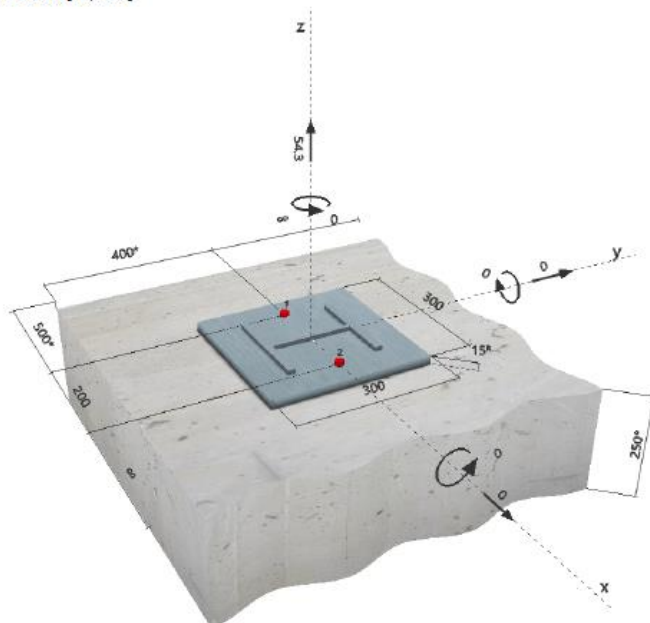
Si riporta ora la verifica del collegamento:

www.hilti.it		 Profis Anchor 2.8.5	
Impresa:		Pagina:	1
Progettista:		Progetto:	
Indirizzo:		Contratto N°:	
Telefono / Fax:		Data:	28/01/2020
E-mail:			
Commenti del progettista:			
1 Dati da inserire			
Tipo e dimensione dell'ancorante:	HIT-RE 500 V3 + HIT-V(5.8) M16		
Return period (service life in years):	50		
Profondità di posa effettiva:	$h_{ef,act} = 200 \text{ mm}$ ($h_{ef,inst} = - \text{ mm}$)		
Materiale:	5.8		
Certificazione No.:	ETA 16/0143		
Emesso / Validato:	14/05/2019 -		
Prova:	metodo di calcolo EN 1992-4, Chimico		
Fissaggio distanziato:	$e_b = 0 \text{ mm}$ (Senza distanziamento); $t = 15 \text{ mm}$		
Piastra d'ancoraggio:	$S 355$; $E = 210,000.00 \text{ N/mm}^2$; $f_{yk} = 355.00 \text{ N/mm}^2$; $\gamma_{M2} = 1.050$ $I_x \times I_y \times t = 300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$; (Spessore della piastra raccomandato: calcolato (11 mm)) IPB / HEB, IPB 180 / HE 180 B; (L x W x T x FT) = 180 mm x 180 mm x 9 mm x 14 mm		
Profilo:	IPB / HEB, IPB 180 / HE 180 B; (L x W x T x FT) = 180 mm x 180 mm x 9 mm x 14 mm		
Materiale base:	fessurato calcestruzzo, C25/30, $f_{ct,eff} = 25.00 \text{ N/mm}^2$; $h = 250 \text{ mm}$, Temp. Breve/Lungo: 0/0 °C		
Installazione:	Foro eseguito con perforatore, Condizioni di installazione: asciutto		
Armatura:	nessuna armatura o interasse tra le armature $\geq 150 \text{ mm}$ (qualunque \varnothing) o $\geq 100 \text{ mm}$ ($\varnothing \leq 10 \text{ mm}$) senza armatura di bordo longitudinale		



^R - Il calcolo dell'ancoraggio presuppone la presenza di una piastra di ancoraggio rigida.

Geometria [mm] & Carichi [kN, kNm]





www.hilti.it

Profis Anchor 2.8.5

Impresa:

2

Progettista:

Pagina:

Indirizzo:

Progetto:

Telefono / Fax:

Contratto N°:

E-mail:

Data:

28/01/2020

1.1 Carichi permanenti

N_{per} [kN]	$M_{x,\text{per}}$ [kNm]	$M_{y,\text{per}}$ [kNm]
0.000	0.000	0.000

2 Condizione di carico/Carichi risultanti sull'ancorante (ULS)

Condizione di carico: Carichi di progetto

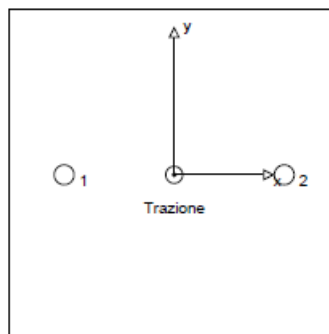
Carichi sull'ancorante [kN]

Trazione: (+ Trazione, - Compressione)

Ancorante	Trazione	Taglio	Taglio in dir. x	Taglio in dir. y
1	27.150	0.000	0.000	0.000
2	27.150	0.000	0.000	0.000

Compressione max. nel calcestruzzo: - [%]
 Max. sforzo di compressione nel calcestruzzo: - [N/mm²]
 risultante delle forze di trazione nel (x/y)=(0/0): 54.300 [kN]
 risultante delle forze di compressione (x/y)=(0/0): 0.000 [kN]

Le forze di ancoraggio vengono calcolate presupponendo una piastra di ancoraggio rigida.





www.hilti.it

Profis Anchor 2.8.5

Impresa:

Pagina:

3

Progettista:

Progetto:

Indirizzo:

Contratto N°:

Telefono / Fax:

Data:

28/01/2020

3 Carico di trazione (EN 1992-4, Sezione 7.2.1)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_N [%]	Stato
Rottura dell'acciaio*	27.150	52.333	52	OK
Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento**	54.300	94.190	58	OK
Rottura conica del calcestruzzo**	54.300	96.795	57	OK
Fessurazione**	54.300	75.184	73	OK

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti sollecitati)

3.1 Rottura dell'acciaio

$N_{Rk,s}$ [kN]	γ_{Ms}	$N_{Rd,s}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
78.500	1.500	52.333	27.150

3.2 Rottura combinata conica del calcestruzzo e per sfilamento

$A_{p,N}$ [mm ²]	$A_{s,N}^0$ [mm ²]	$\tau_{Rk,UCR,20}$ [N/mm ²]	$s_{cr,Nb}$ [mm]	$c_{cr,Nb}$ [mm]	c_{min} [mm]	$f_{t,cr,N}$ [N/mm ²]
328.234	231.918	17.00	482	241	400	25.00
ψ_c	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm ²]	k_3	$\tau_{Rk,c}$ [N/mm ²]	$\psi_{s,Nb}^0$	$\psi_{s,Nb}$	
1.023	9.71	7.700	10.83	1.082	1.022	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
ψ_{sus}^0	α_{sus}	ψ_{sus}				
0.880	0.000	1.000				
$N_{Rk,p}^0$ [kN]	$N_{Rk,p}$ [kN]	γ_{Mp}	$N_{Rd,p}$ [kN]	N_{Ed} [kN]		
97.659	141.285	1.500	94.190	54.300		

3.3 Rottura conica del calcestruzzo

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,N}$ [mm]	$s_{cr,N}$ [mm]	$f_{t,cr,N}$ [N/mm ²]		
480.000	360.000	300	600	25.00		
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	
0	1.000	0	1.000	1.000	1.000	
z [mm]	ψ_{MN}	k_1	$N_{Rk,c}^0$ [kN]	γ_{Mc}	$N_{Rd,c}$ [kN]	N_{Ed} [kN]
0	1.000	7.700	108.894	1.500	96.795	54.300

3.4 Fessurazione

$A_{c,N}$ [mm ²]	$A_{c,N}^0$ [mm ²]	$c_{cr,sp}$ [mm]	$s_{cr,sp}$ [mm]	$\psi_{h,sp}$	$f_{t,cr,N}$ [N/mm ²]	
940.808	817.216	452	904	1.039	25.00	
$e_{c1,N}$ [mm]	$\psi_{ec1,N}$	$e_{c2,N}$ [mm]	$\psi_{ec2,N}$	$\psi_{s,N}$	$\psi_{re,N}$	k_1
0	1.000	0	1.000	0.965	1.000	7.700
$N_{Rk,sp}^0$ [kN]	$\gamma_{M,sp}$	$N_{Rd,sp}$ [kN]	N_{Ed} [kN]			
97.659	1.500	75.184	54.300			



www.hilti.it

Profis Anchor 2.8.5

Impresa:
Progettista:
Indirizzo:
Telefono / Fax:
E-mail:

Pagina: 4
Progetto:
Contratto N°:
Data: 28/01/2020

4 Carico di taglio (EN 1992-4, Sezione 7.2.2)

	Carico [kN]	Resistenza [kN]	Utilizzo β_v [%]	Stato
Rottura dell'acciaio (senza braccio di leva)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rottura dell'acciaio (con braccio di leva)*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rottura per pryout*	N/A	N/A	N/A	N/A
Rottura del bordo del calcestruzzo in direzione **	N/A	N/A	N/A	N/A

*ancorante più sollecitato **gruppo di ancoranti (ancoranti specifici)

5 Spostamenti (ancorante più sollecitato)

Carichi a breve termine:

$$\begin{aligned} N_{Sk} &= 20.111 \text{ [kN]} & \delta_N &= 0.160 \text{ [mm]} \\ V_{Sk} &= 0.000 \text{ [kN]} & \delta_V &= 0.000 \text{ [mm]} \\ & & \delta_{NV} &= 0.160 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Carichi a lungo termine:

$$\begin{aligned} N_{Sk} &= 20.111 \text{ [kN]} & \delta_N &= 0.380 \text{ [mm]} \\ V_{Sk} &= 0.000 \text{ [kN]} & \delta_V &= 0.000 \text{ [mm]} \\ & & \delta_{NV} &= 0.380 \text{ [mm]} \end{aligned}$$

Commenti: Gli spostamenti a trazione risultano validi con metà del valore della coppia di serraggio richiesta per non fessurato calcestruzzo!
Gli spostamenti a taglio sono validi trascurando l'attrito tra il calcestruzzo e la piastra d'ancoraggio! Lo spazio derivante dal foro eseguito con perforatore e dalle tolleranze dei fori non viene considerato in questo calcolo!

Gli spostamenti ammissibili dell'ancorante dipendono dalla struttura fissata e devono essere definiti dal progettista!

6 Attenzione

- Fenomeni di redistribuzione dei carichi sugli ancoranti derivanti da eventuali deformazioni elastiche della piastra non sono presi in considerazione. Si assume una piastra di ancoraggio sufficientemente rigida in modo che non risulti deformabile sotto l'azione di carichi!
- La verifica del trasferimento dei carichi all'interno del materiale di base è richiesta in accordo con EN 1992-4, Allegato A!
- Il progetto è valido solo se le dimensioni del foro nell'elemento da fissare non è maggiore del valore dato in tabella 6.1 di EN 1992-4! Per diametri maggiori del foro vedere sezione 6.2.2 di EN 1992-4!
- La lista accessori inclusa in questo report di calcolo è da ritenersi solo come informativa dell'utente. In ogni caso, le istruzioni d'uso fornite con il prodotto dovranno essere rispettate per garantire una corretta installazione.
- Per la determinazione di $\Psi_{s, re, v}$ (rottura di bordo del calcestruzzo) si assume un copriferro per le armature di bordo $c = 30 \text{ mm}$
- L'adesione chimica caratteristica dipende dalle temperature di breve e di lungo periodo.
- Contattare Hilti per verificare la fornitura delle barre HIT-V.
- L'armatura di bordo non è necessaria per evitare la modalità di rottura per fessurazione (splitting)
- The characteristic bond resistances depend on the return period (service life in years): 50

L'ancoraggio risulta verificato!

7 Dati relativi all'installazione

Piastra d'ancoraggio, acciaio: S 355; $E = 210,000.00 \text{ N/mm}^2$; $f_{yk} = 355.00 \text{ N/mm}^2$

Profilo: IPB / HEB, IPB 180 / HE 180 B; $(L \times W \times T \times FT) = 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} \times 9 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$

Diametro del foro nella piastra: $d_f = 18 \text{ mm}$

Spessore della piastra (input): 15 mm

Spessore della piastra raccomandato: calcolato (11 mm)

Metodo di perforazione: Foro con perforazione a roto-percussione

Pulizia: E' necessaria una pulizia accurata del foro (Premium cleaning)

Tipo e dimensione dell'ancorante: HIT-RE 500 V3 + HIT-V(5.8) M16

Coppia di serraggio: 0.080 kNm

Diametro del foro nel materiale base: 18 mm

Profondità del foro nel materiale base: 200 mm

Spessore minimo del materiale base: 238 mm

7.1 Accessori richiesti

Perforazione

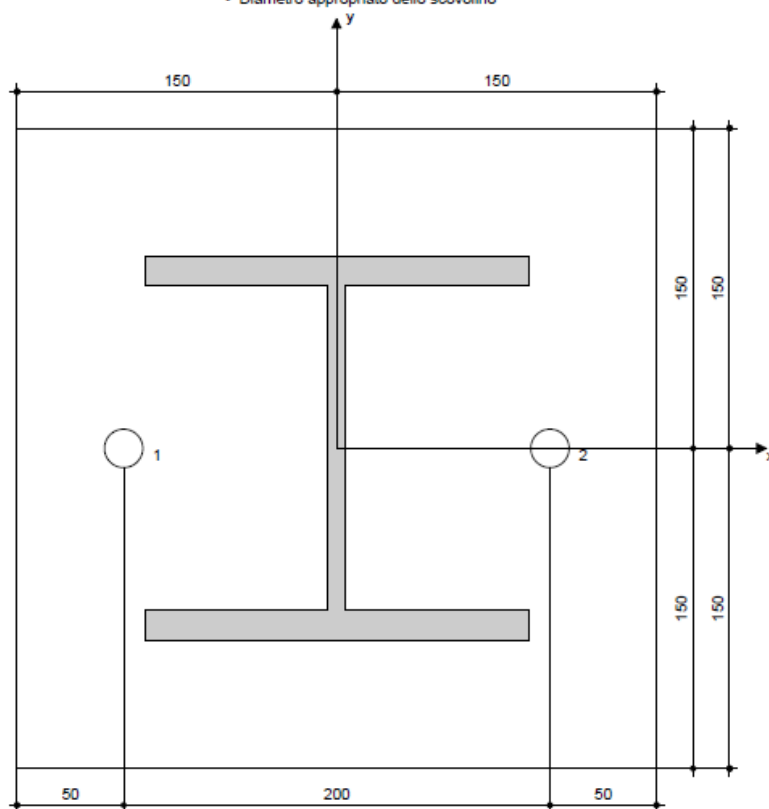
- Idoneo per rotopercussione
- Dimensione appropriata della punta del trapano

Pulizia

- Aria compressa con i relativi accessori necessari per soffiare a partire dal fondo del foro.
- Diametro appropriato dello scovolino

Posa

- Il dispenser include il portacartucce e il miscelatore
- Chiave dinamometrica



Coordinate dell'ancorante [mm]

Ancorante	x	y	c _x	c _{yx}	c _y	c _{yy}
1	-100	0	500	-	400	-
2	100	0	700	-	400	-

1.4.8 Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma alla soluzione garantisce che la verifica della rotazione della palancola attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta.

I grafici relativi a spostamenti e sollecitazioni riportati nei capitoli precedenti sono relativi all'ultimo step di analisi. Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di rotazione rigida.

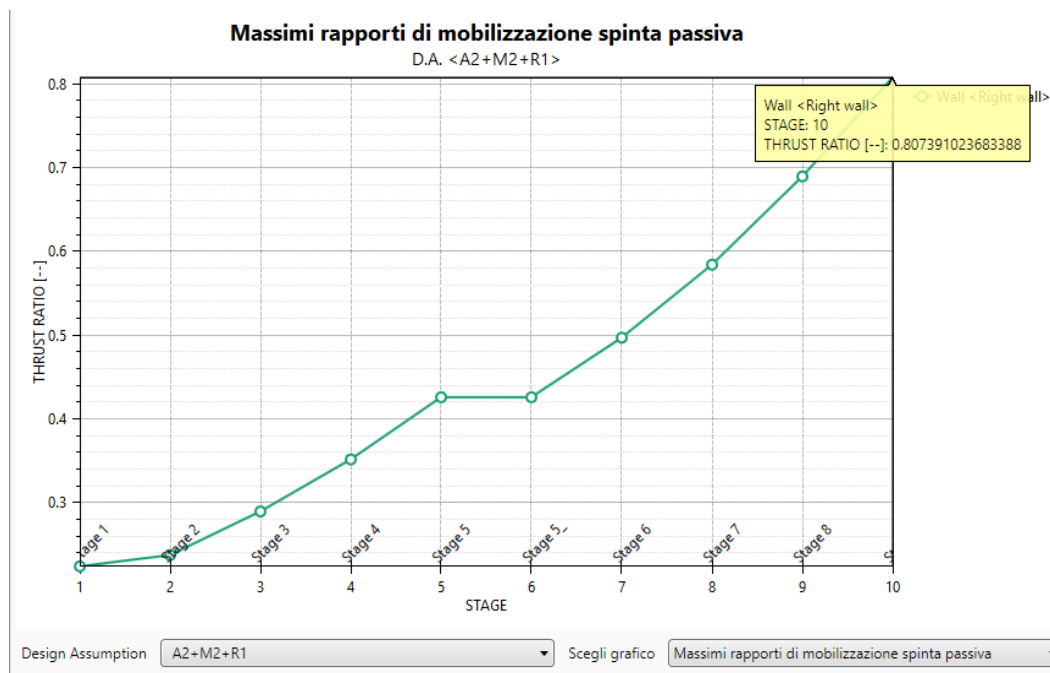
1.4.9 Verifica della resistenza del terreno

Durante le fasi di calcolo il programma determina il valore della massima spinta passiva necessaria per l'equilibrio del sistema e lo confronta con la massima spinta passiva mobilizzabile.

Il rapporto tra le due grandezze per la c.c. più gravosa viene riportato nel grafico seguente ed è sempre inferiore a **0.9** (si considera $\gamma_R=1.1$ e quindi deve risultare $\gamma_{R2}^{-1} = 1.1^{-1} = 0.9$).

Per lo stage finale risulta $0.81 < 0.9$

La verifica è quindi soddisfatta.



2 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI SCARICO 1 – LATO TERRA

2.1 PREMESSA

La presente relazione tecnica strutturale ha per oggetto la realizzazione di un palancolato a sostegno di uno scavo temporaneo, da effettuarsi a Trieste (TS).

2.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto delle strutture verrà eseguito in conformità alle seguenti norme:

- D.M. 17 Gennaio 2018 : “Norme Tecniche per le Costruzioni ”
- Circolare 21 Gennaio 2019, n° 7/C.S.LL.PP

2.3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

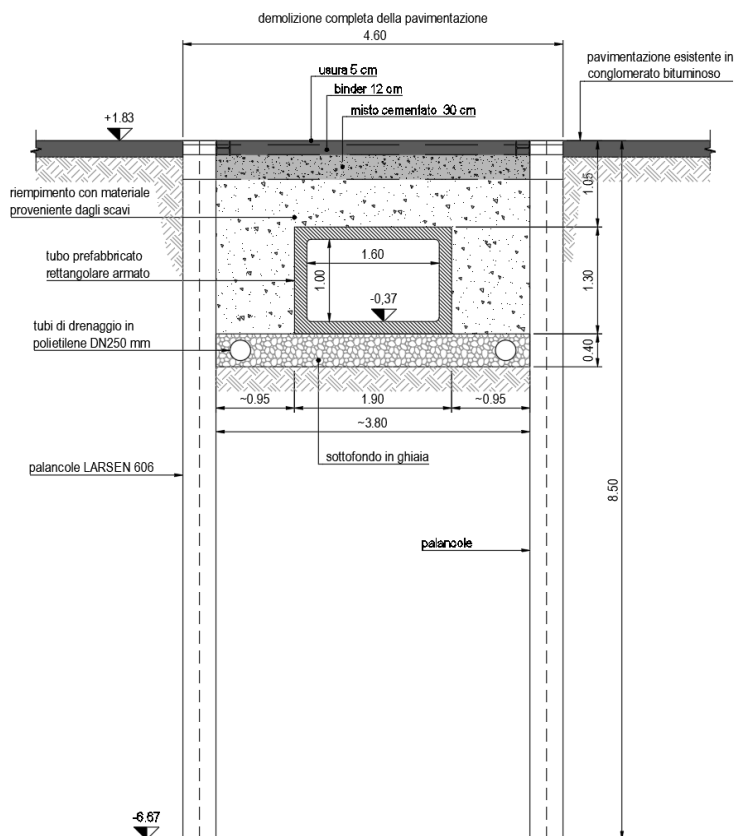
Per effettuare lo scavo si utilizza lungo il perimetro dello stesso palancole AZ26-700 di lunghezza $L=8.5\text{m}$, puntellate ogni 4.6m (distanza massima puntelli).

I puntelli, di lunghezza massima 4.00m posti ad interasse massimo 4.60m, vengono realizzati con 1HEA160 in acciaio S355. Le travi perimetrali di contrasto (previste ad una quota -0.50m rispetto alla sommità della palancola) vengono realizzate con 2HEB180 in acciaio S355.

Le caratteristiche statiche delle palancole tipo AZ26-700 (realizzate in acciaio S275) sono le seguenti:

Sezione	Dimensioni				Il peso		Momento d'inerzia	Modulo di sezione
	b	h	t	s				
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m ²		
AZ 26-700	700	460	12,2	12,2	102,9	146,9	59 720	2 600

Lo scavo viene eseguito per fasi, con asportazione di strati di terreno di spessore non superiore a 50cm, per un'altezza totale pari a 3.0m.



Successivamente, nella fase di rinterro, è possibile rimuovere tutti i puntoni di contrasto nel momento in cui lo scavo risulta a non più di una profondità pari a -1.50m rispetto al piano campagna (il rinterro deve essere opportunamente costipato).

2.4 MODELLO DI CALCOLO

2.4.1 Descrizione

Il calcolo dell'opera viene svolto mediante il software "Paratie Plus", che consente di:

- schematizzare la geometria dell'opera, introdurre i carichi e i vincoli opportuni;
- introdurre le caratteristiche del terreno, che viene schematizzato come suolo elastico alla Winkler.

Le pareti utilizzate nel modello di calcolo sono denominate "Muro di sinistra" e "Muro di destra": essi rappresentano due paratie opposte dello scavo. Le due pareti sono collegate da un elemento orizzontale posto a quota -0.50m rispetto alla sommità che schematizza il puntone.

Per tutti gli elementi introdotti è stato possibile inserire caratteristiche meccaniche opportune e interassi coerenti con le ipotesi iniziali.

Stratigrafia

Vengono utilizzati i seguenti parametri (desumibili dalla relazione geologica per gli strati nei quali viene posizionata la palancola):

$$\gamma = 20 \text{ kN/mq}$$

$$\phi = 22^\circ$$

Sovraccarichi

Si considera la presenza di un sovraccarico a lato scavo pari a 5 kN/mq dovuto ai mezzi d'opera.

Falda

La falda si considera a quota -1.5m rispetto alla sommità dello scavo.

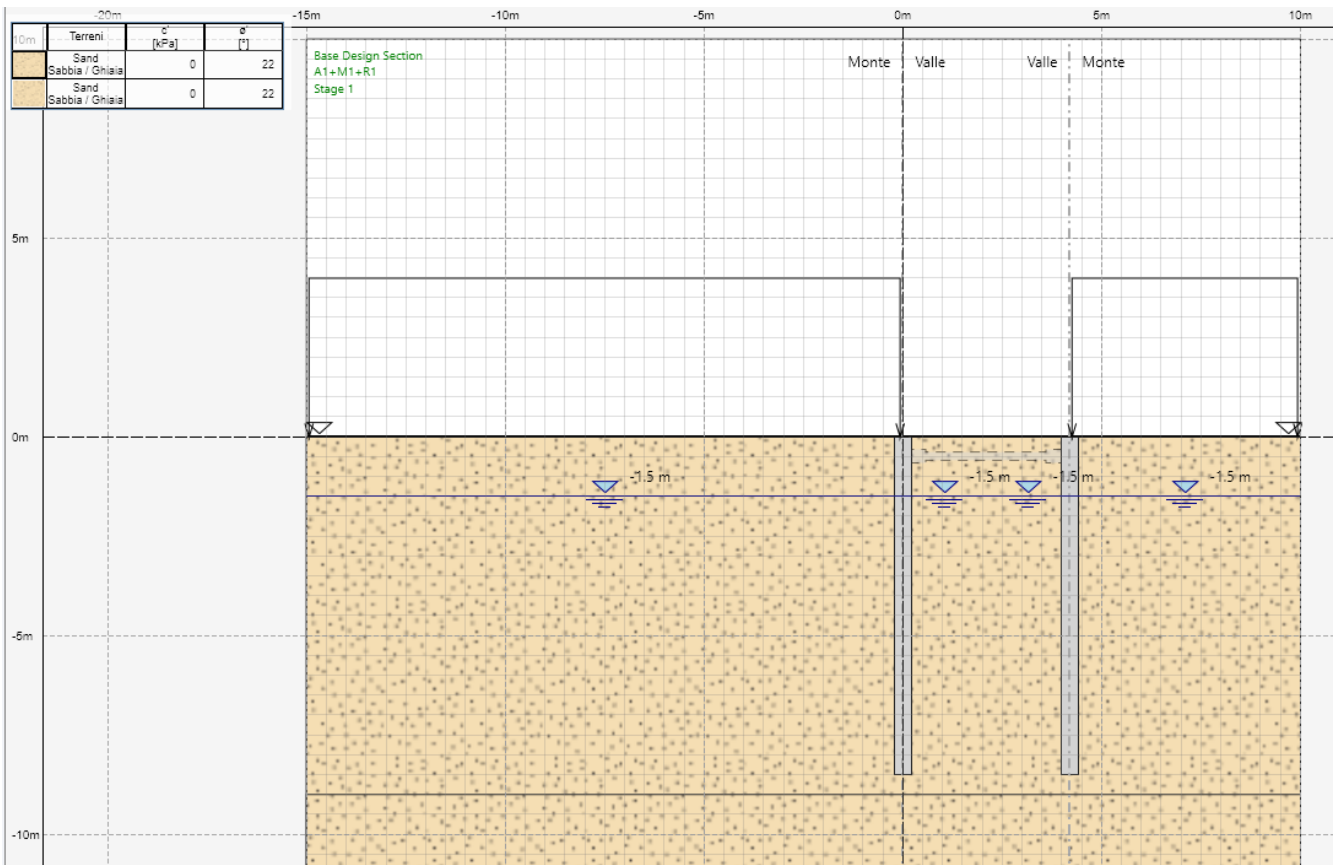
Combinazioni di carico

I carichi agenti sulla paratia vengono combinati generando tutti gli Approcci normativi previsti dal DM 17/01/18 per le paratie.

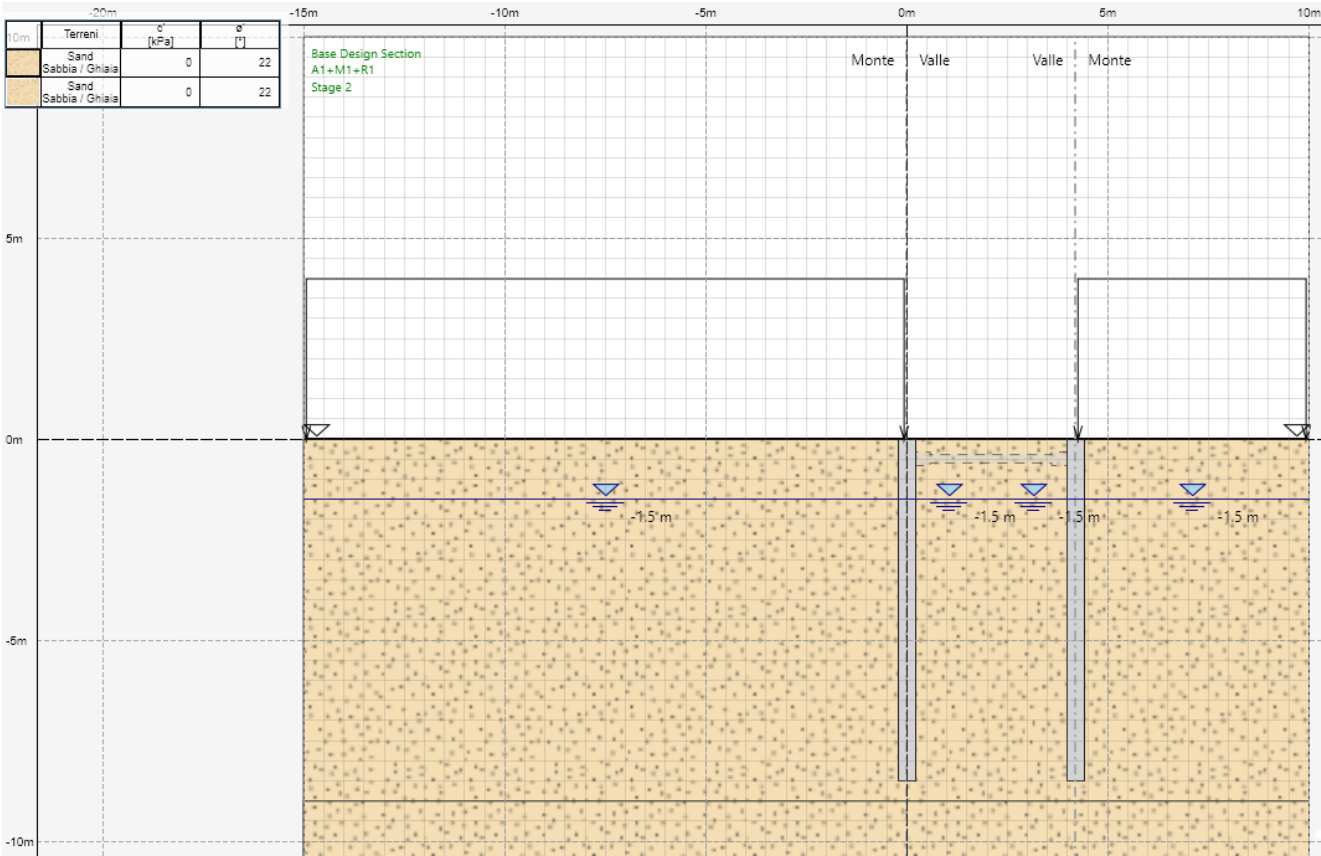
Si specifica che tale opera è temporanea. Non verranno quindi considerate le azioni sismiche.

2.4.2 Rappresentazione delle fasi

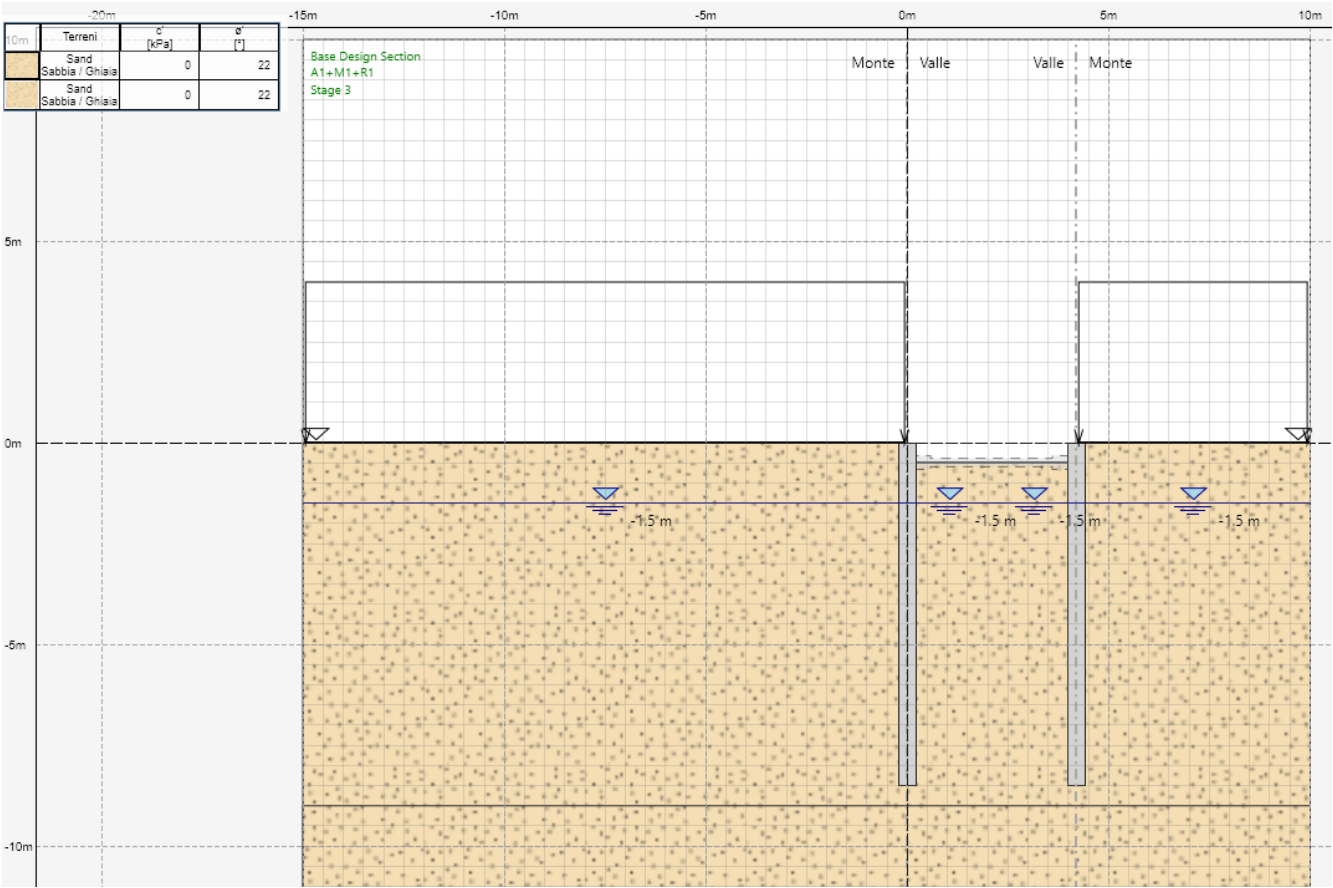
Stage 1



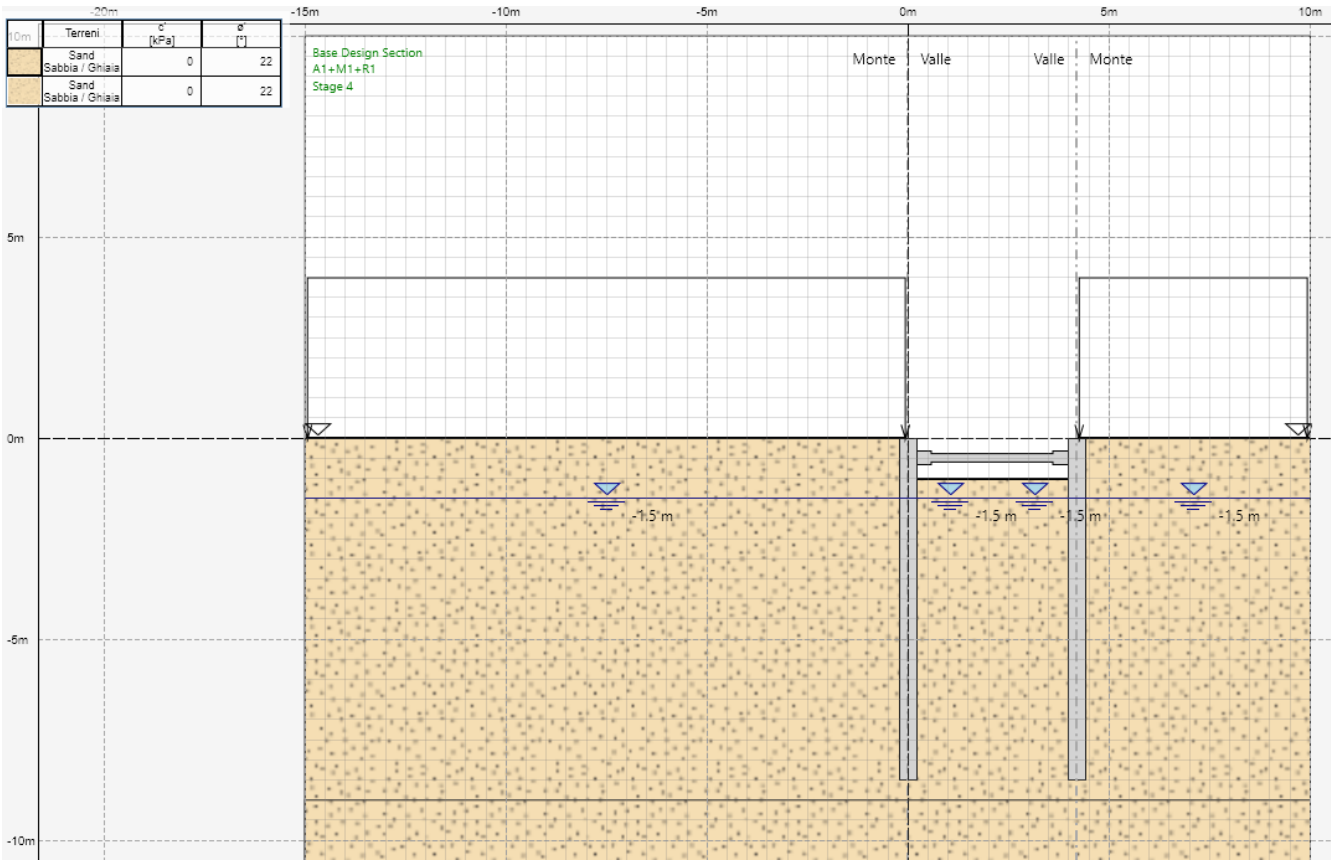
Stage 2



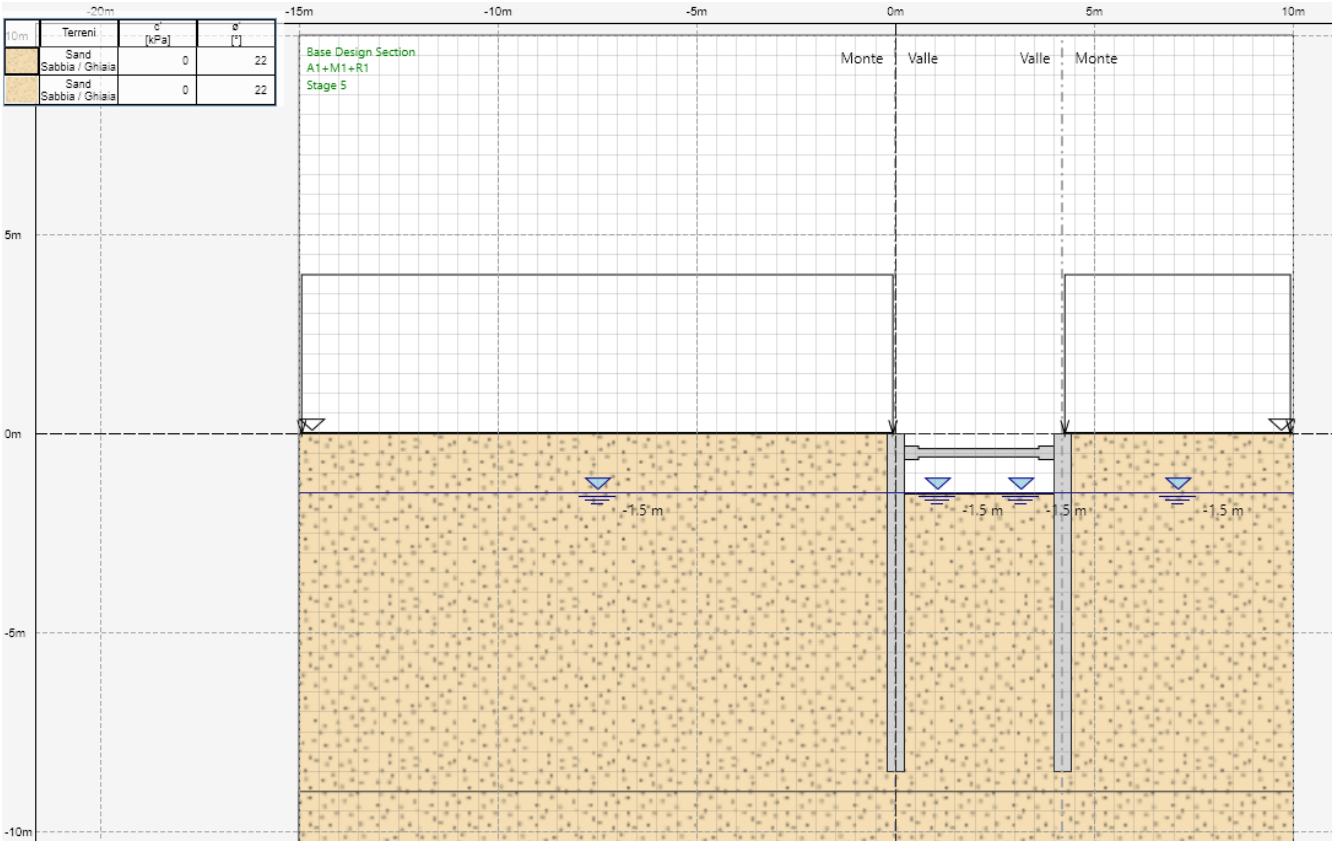
Stage 3



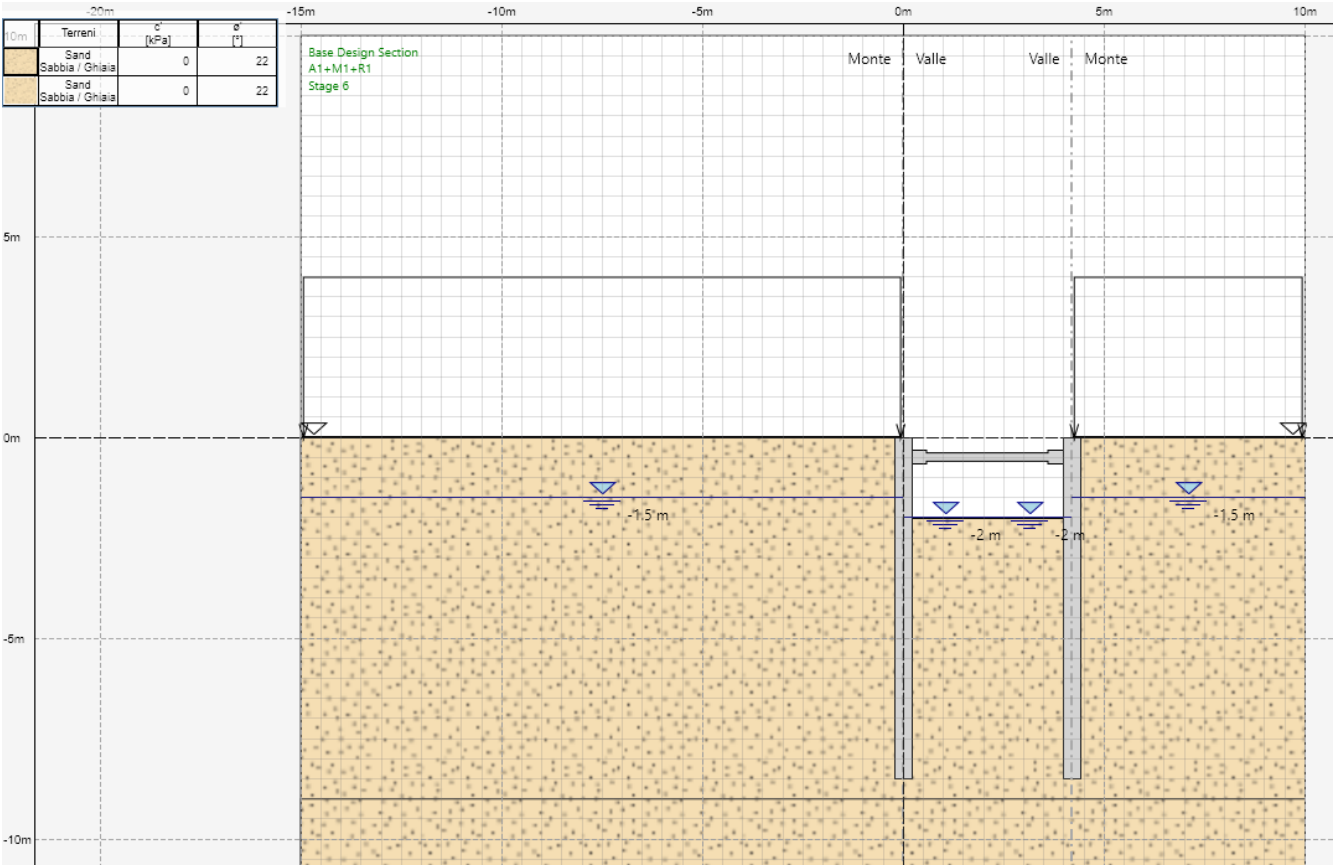
Stage 4



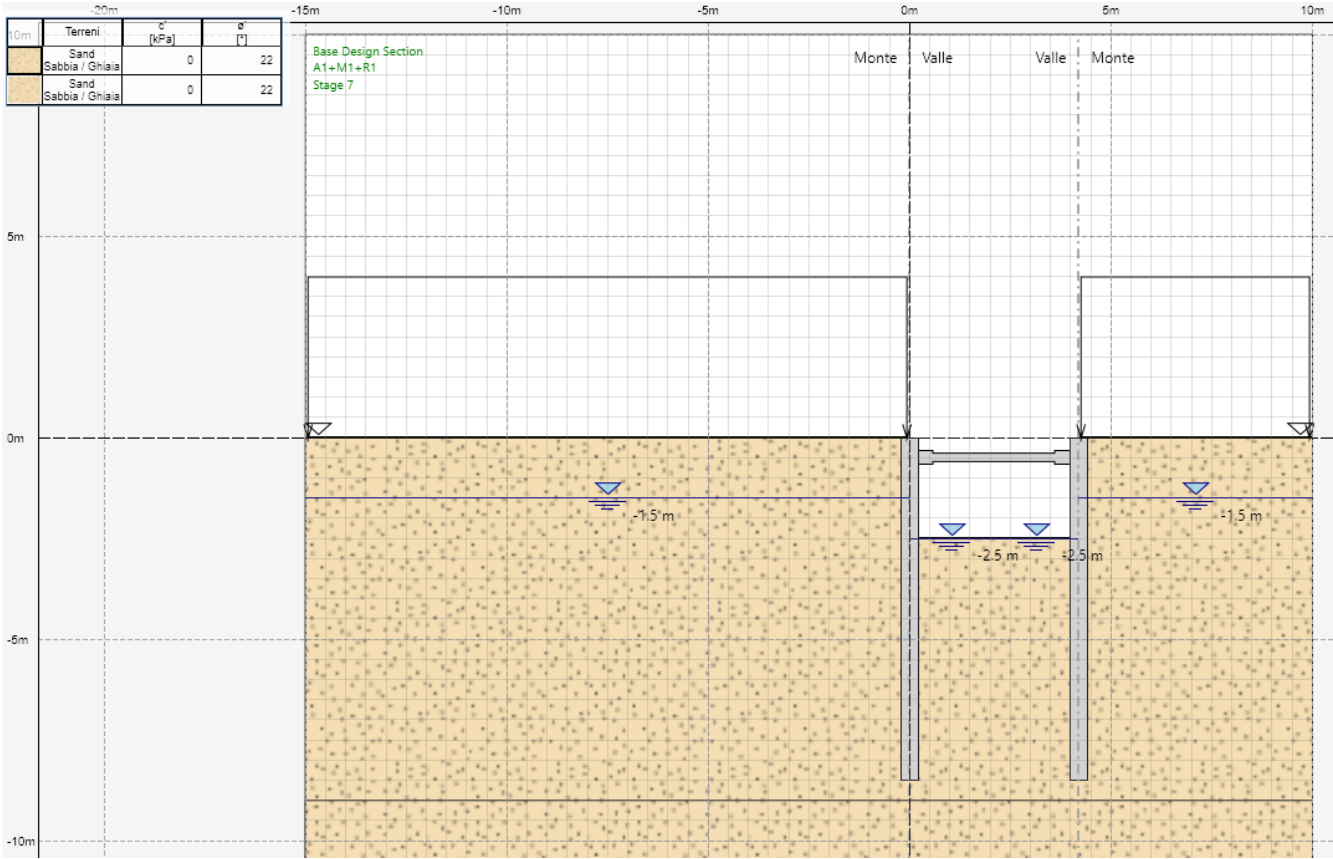
Stage 5



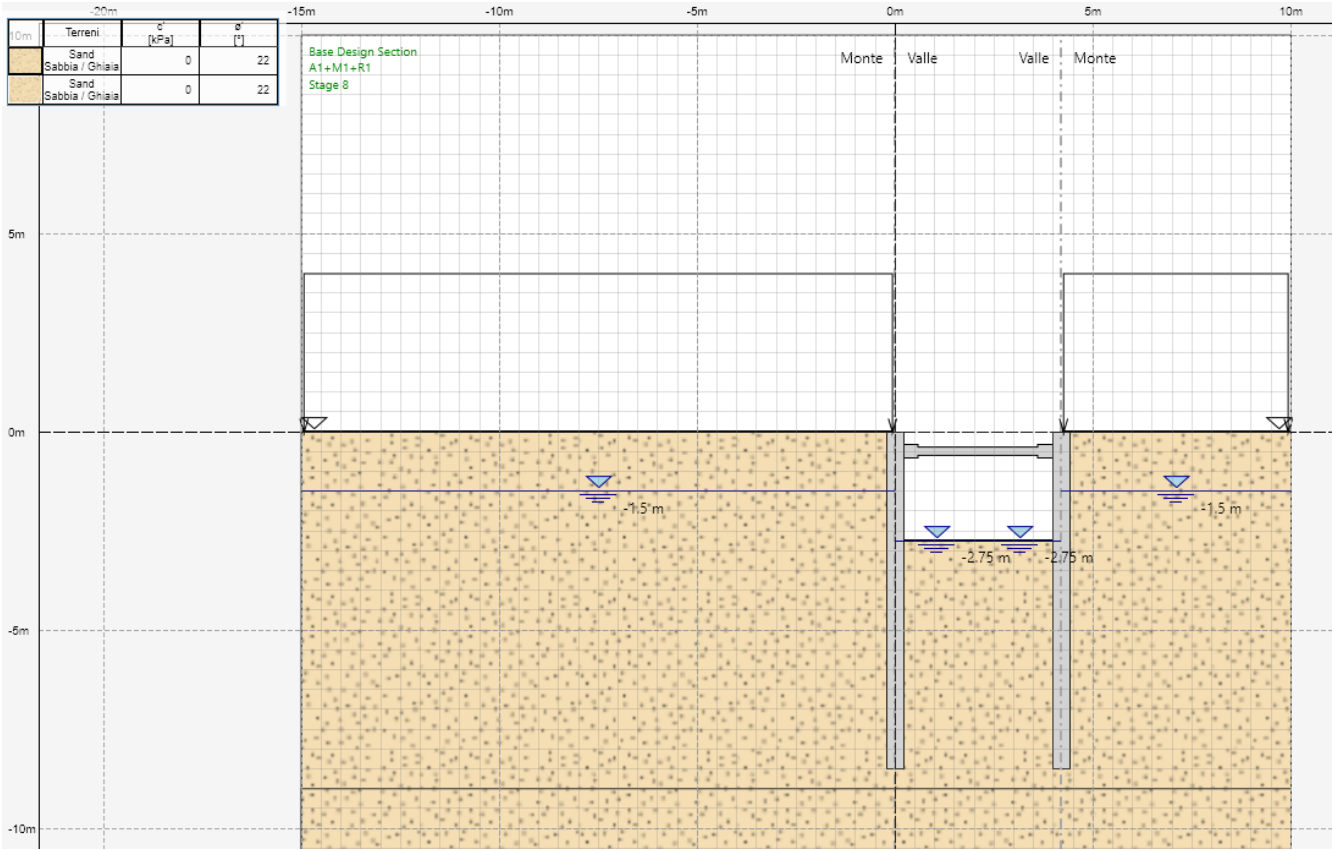
Stage 6



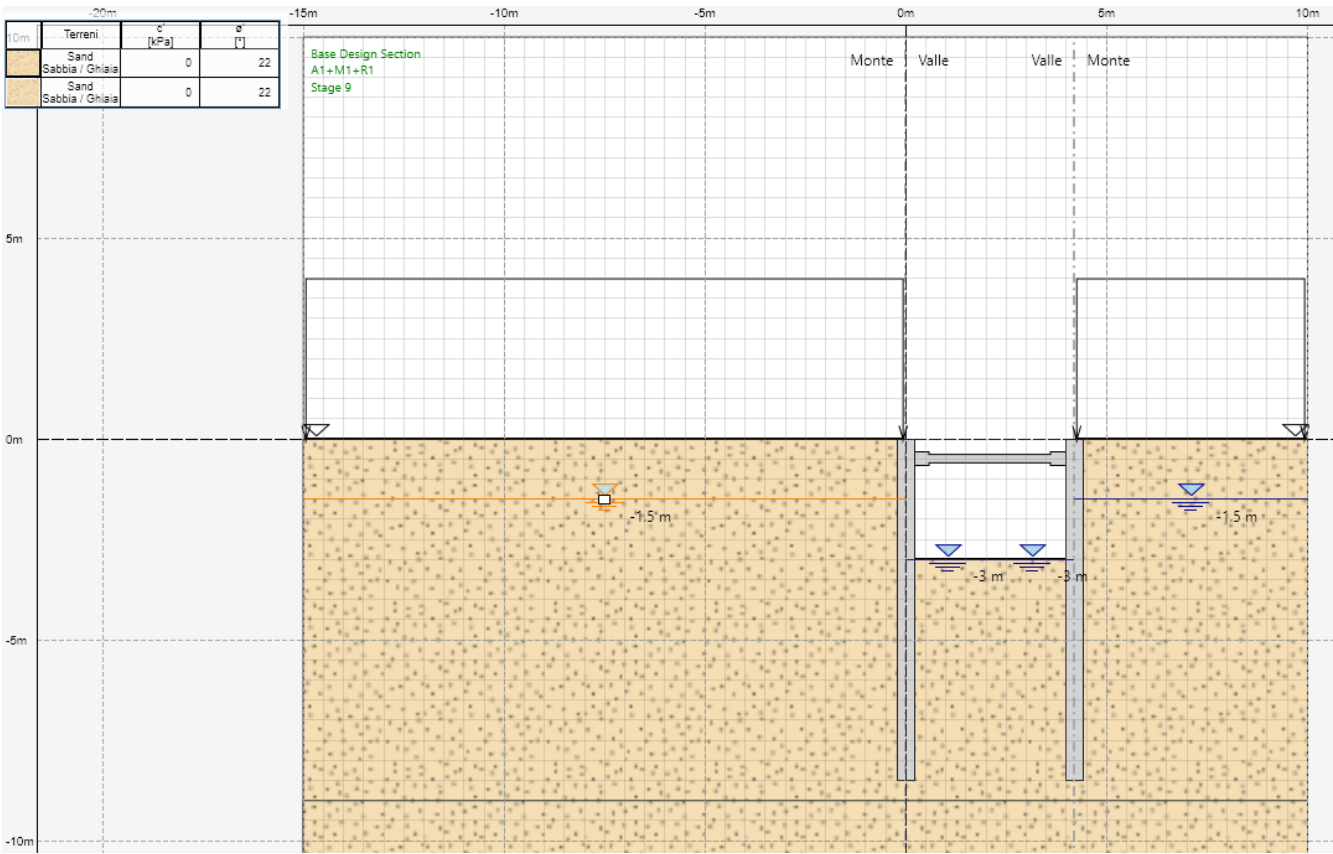
Stage 7



Stage 8

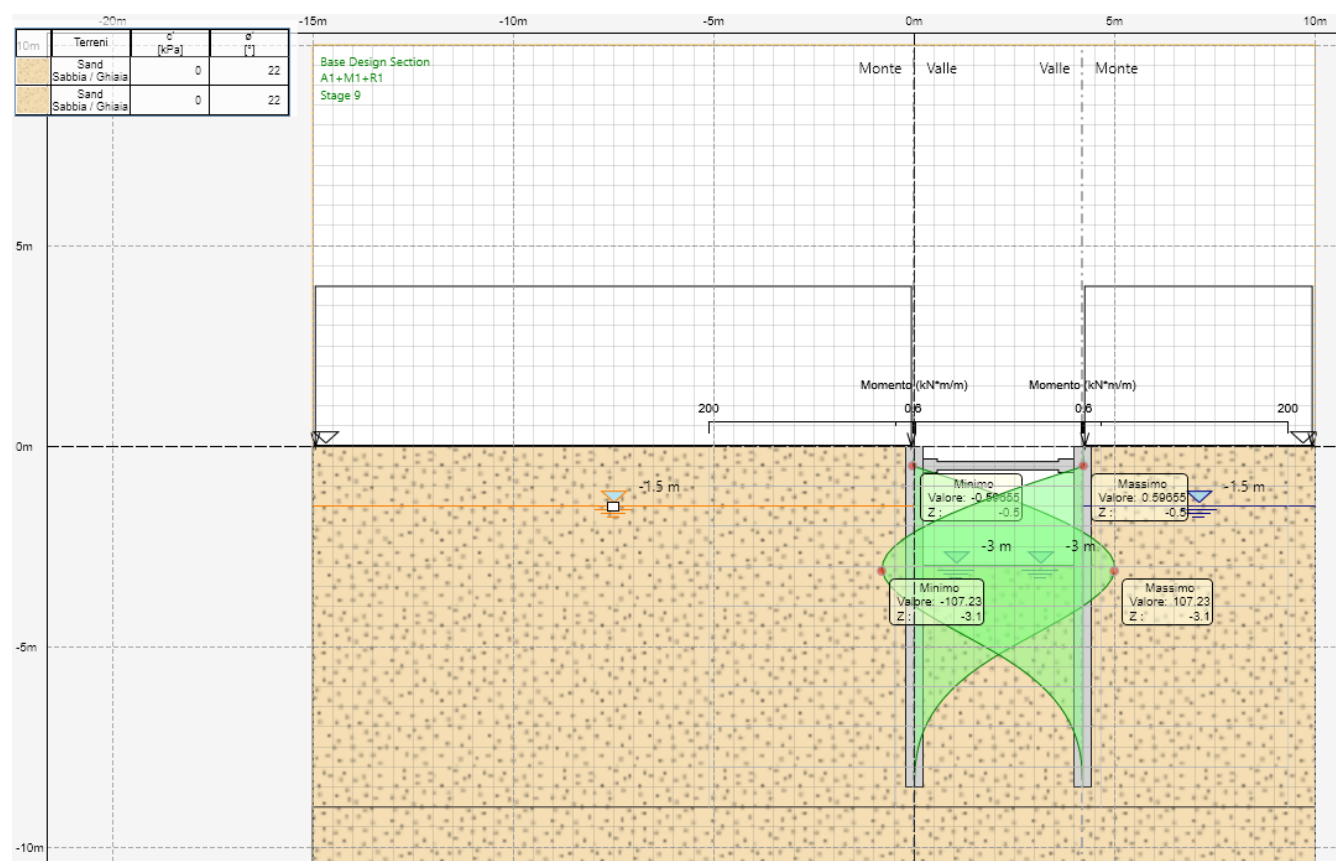


Stage 9



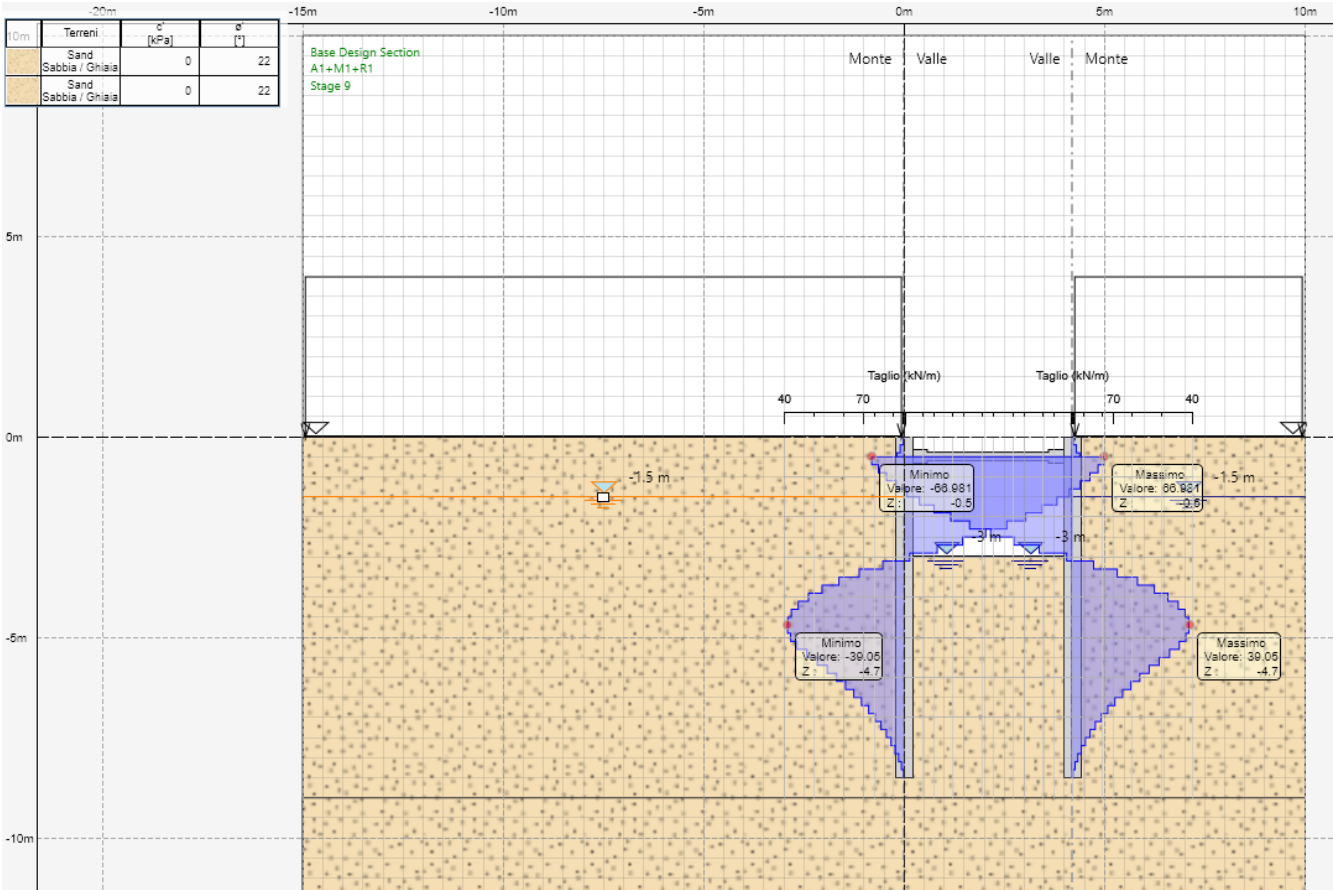
2.4.3 Sollecitazioni e spostamenti

Involuppo dei Momenti flettenti [kNm/m] – (A1+M1+R1)



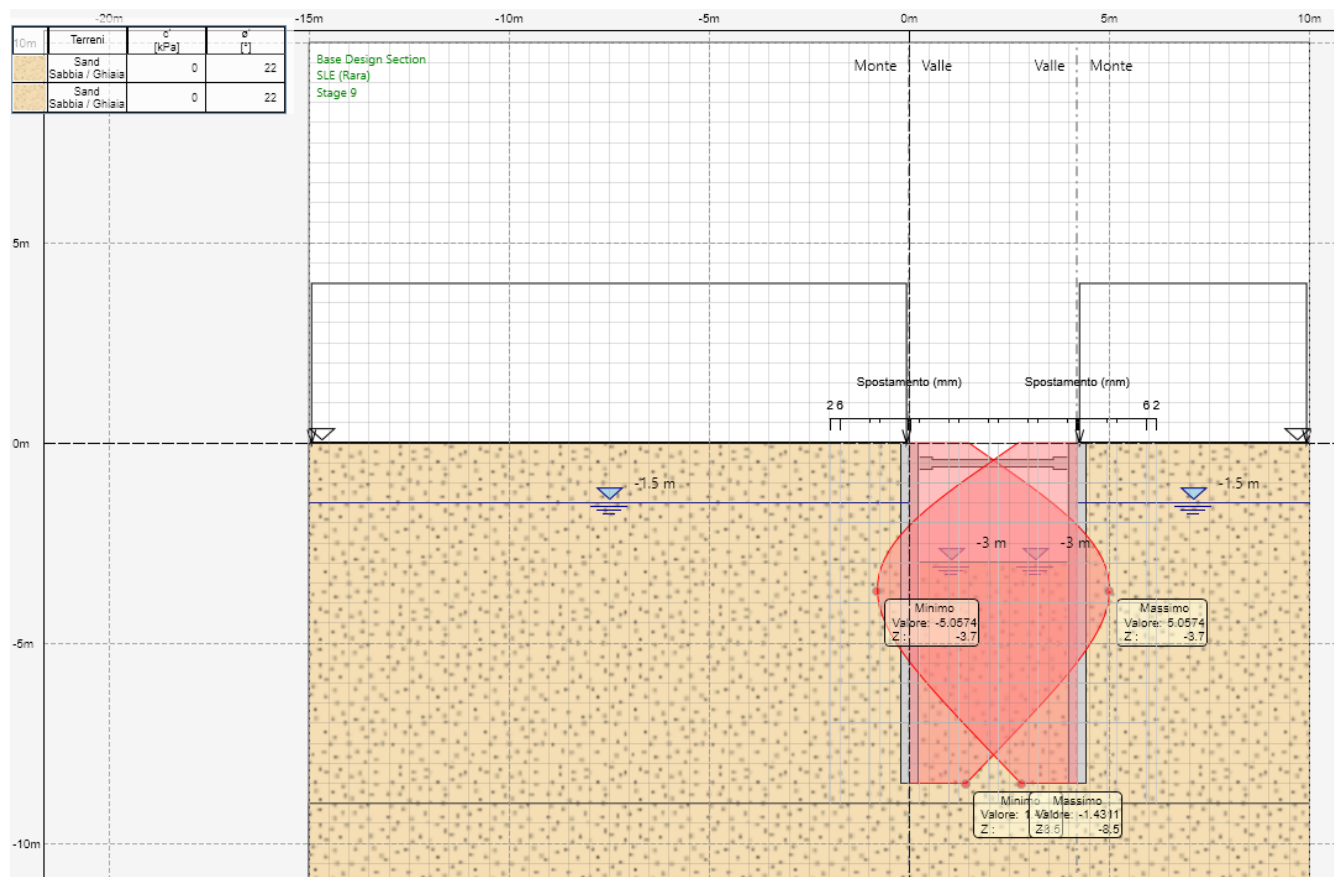
$$M_{Sd,max} = 107 \text{ kNm/m}$$

Inviluppo dei Tagli [kN/m] – (A1+M1+R1)

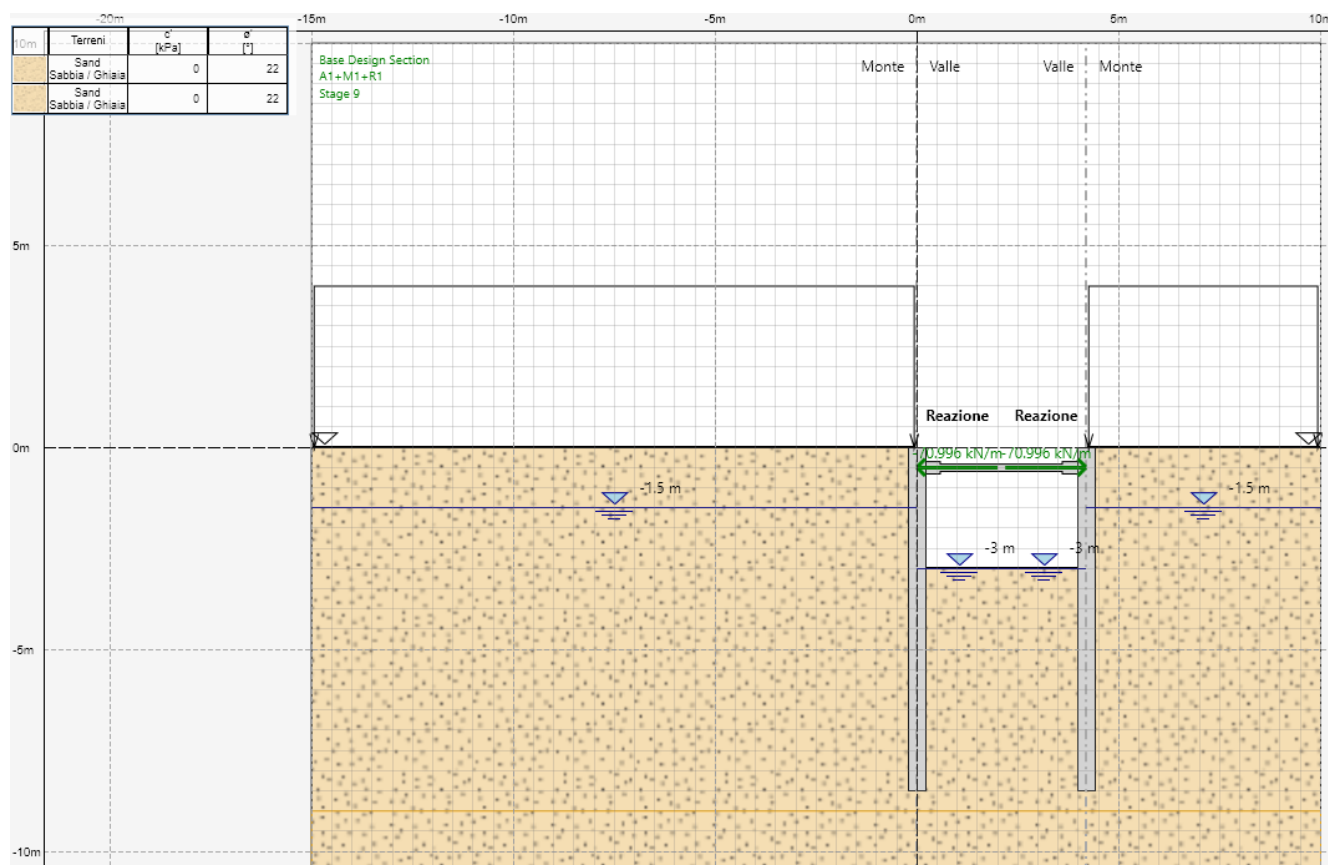


$V_{Sd,max} = 67 \text{ kN/m}$

Inviluppo spostamenti [mm] – Stato Limite di Esercizio (RARA)



δ_{max} = 5.1 mm (spostamento massimo a quota -3.70m rispetto al piano campagna)

Reazioni vincolari sistema di contrasto [kN/m] – (A1+M1+R1)

$$F_{Sd} = 71 \text{ kN/m}$$

2.4.4 Verifica del palancolato allo SLU

Le caratteristiche statiche di un metro lineare di paratia valgono:

Area:	$A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$
Momento d'inerzia:	$J = 59720 \text{ cm}^4/\text{m}$
Modulo di resistenza elastico:	$W = 2600 \text{ cm}^3/\text{m}$

Le sollecitazioni del modello di calcolo si riferiscono ad un metro lineare di sezione.

Momento flettente agente:	$M_{Ed} = 107 \text{ kNm/m}$
Taglio agente:	$V_{Ed} = 67 \text{ kN/m}$

Tensione sul profilo:

$$\begin{aligned}\sigma &= M/W = 107 \times 10^6 \text{ Nmm} / (2600 \times 10^3 \text{ mm}^3) = 42 \text{ MPa} \\ \tau &= V/A = 67 \times 10^3 \text{ N} / 18700 \text{ mm}^2 = 3.6 \text{ Mpa} \\ \text{Tensione ideale: } \sigma_{id} &= (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 42.5 \text{ Mpa} < f_{yk}/\gamma_s = 240/1.05 = 228 \text{ MPa}\end{aligned}$$

La verifica è soddisfatta

2.4.5 Verifica delle travi di ripartizione allo SLU

Vengono utilizzate 2HEB180 in acciaio S355.

Si considerano due casi:

- zona corrente, dove due puntelli consecutivi hanno interasse massimo 4.60m (cautelativamente si considera uno schema statico di trave su due appoggi di luce pari a 4.60m);
- zona terminale, con sbalzo massimo pari a 2.40m (cautelativamente si considera uno schema statico di mensola di luce pari a 2.40m).

Momento massimo zona corrente:	$M_{Sd} = 71 \times 4.60^2/8$	= 188 kNm
Momento massimo sbalzo:	$M_{Sd} = 71 \times 2.4^2/2$	= 205 kNm
Taglio massimo zona corrente:	$V_{Sd} = 71 \times 4.60/2$	= 163 kN
Taglio massimo sbalzo:	$V_{Sd} = 71 \times 2.4$	= 170 kN

Si riporta la verifica delle travi, considerando le sollecitazioni flettenti e di taglio massime tra quelle calcolate precedentemente per i due schemi statici.

Su ciascuno dei due profili risulta:

$$M_{Sd,max} = 205/2 = 103 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd,max} = 170/2 = 85 \text{ kN}$$

SOLLECITAZIONI		Membratura	
M _y	103.00 kN*m	principale	
M _z	0.00 kN*m		
T _y	85 kN		
T _z	0 kN		
N	0 kN	0	
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio S355	
h	180 mm	f _{y,k}	355 MPa
b	180 mm	f _{tk}	510 MPa
t _w	8.5 mm	γ _{M0}	1.05
t _f	14 mm	γ _{M1}	1.05
r ₁	14 mm	γ _{M2}	1.25
ρ _y	7.66 cm	f _{y,d}	338 MPa
ρ _z	4.57 cm	E	210000 MPa
J _y	3831 cm ⁴	n. fori=	0
J _z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm
W _{y,el}	426 cm ³	sp.foro=	0 mm
W _{y,pl}	481 cm ³		
W _{z,el}	151 cm ³		
W _{z,pl}	231 cm ³		
A	65.30 cm ²		
A _v	20.01 cm ²		
A _{net}	65.30 cm ²		
VERIFICHE A FLESSIONE DEVIATA		Calcolo: PLASTICO	
M _{cRdy} =	162.76 kNm	= w _y f _{y,k} /γ _{M0}	
M _{cRdz} =	78.10 kNm	= w _z f _{y,k} /γ _{M0}	
M _y /M _{pRdy} +M _z /M _{pRdz}	0.63 <=1	OK	
VERIFICHE A TAGLIO			
V _{c,Rd} =	390.59 kN	>	V OK = A _v f _{y,k} /((3^0,5)γ _{M0})
VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO			
verifica non necessaria			

2.4.6 Verifica del puntone

Viene utilizzato un puntone HEA160 in acciaio S355, di lunghezza massima 4.00m ed interasse massimo degli stessi pari a 4.60m.

$$N_{Sd} = 71 \text{ kN/m} \cdot 4.60 \text{ m} = 327 \text{ kN}$$

STABILITA' DELLE MEMBRATURE			
MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE			
SOLLECITAZIONI		Membratura principale	
M _y	0.00	kN*m	
M _z	0.00	kN*m	
T _y	0	kN	
T _z	0	kN	
N	327	kN	ASTA COMPRESSA
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 160 A		Acciaio S355
h	152	mm	f _{yk} 355 MPa
b	160	mm	f _{tk} 510 MPa
t _w	6	mm	γ _{M0} 1.05
t _f	9	mm	γ _{M1} 1.05
r ₁	9	mm	γ _{M2} 1.25
ρ _y	6.57	cm	f _{yd} 338 MPa
ρ _z	3.98	cm	E 210000 MPa
J _y	1673	cm ⁴	n. fori= 0
J _z	616	cm ⁴	d. fori= 0 mm
W _{y_el}	220	cm ³	sp.foro= 0 mm
W _{y_pl}	245	cm ³	
W _{z_el}	77	cm ³	
W _{z_pl}	118	cm ³	
A	38.80	cm ²	
A _v	12.16	cm ²	
A _{net}	38.80	cm ²	
L _{0y}	4000	mm	Verifica OK OK
L _{0z}	4000	mm	
Limitazione snellezza (§4.2.4.1.3.1 NTC18)			
L _{0y} /r _z	101	< 200	
L _{0z} /r _y	61	< 200	

VERIFICA A COMPRESSIONE					
$N_{c,Rd}$	1311.81 kN	>	N	OK	$= A \cdot f_{yk} / \gamma_{M0}$

VERIFICHE DI INSTABILITA' A COMPRESSIONE					
STABILITA' DELLE MEMBRATURE - ASTE COMPRESSE					
§4.2.1.3.1 NTC18					
$N_{cr,y}$	2167.18 kN	$\pi^2 E J_y / l_{0z}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse y-y)		
$N_{cr,z}$	797.44 kN	$\pi^2 E J_z / l_{0y}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse z-z)		
λ_y	0.80	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$			
λ_z	1.31				
α	0.49	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$			
Φ_y	0.96				
Φ_z	1.64	$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$			
χ_y	0.66				
χ_z	0.38	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$			
χ_{min}	0.38				
$N_{b,Rd}$	502.23 kN				
$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	0.65	<	1	Verifica OK	

2.4.7 Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma alla soluzione garantisce che la verifica della rotazione della palancola attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta.

I grafici relativi a spostamenti e sollecitazioni riportati nei capitoli precedenti sono relativi all'ultimo step di analisi. Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di rotazione rigida.

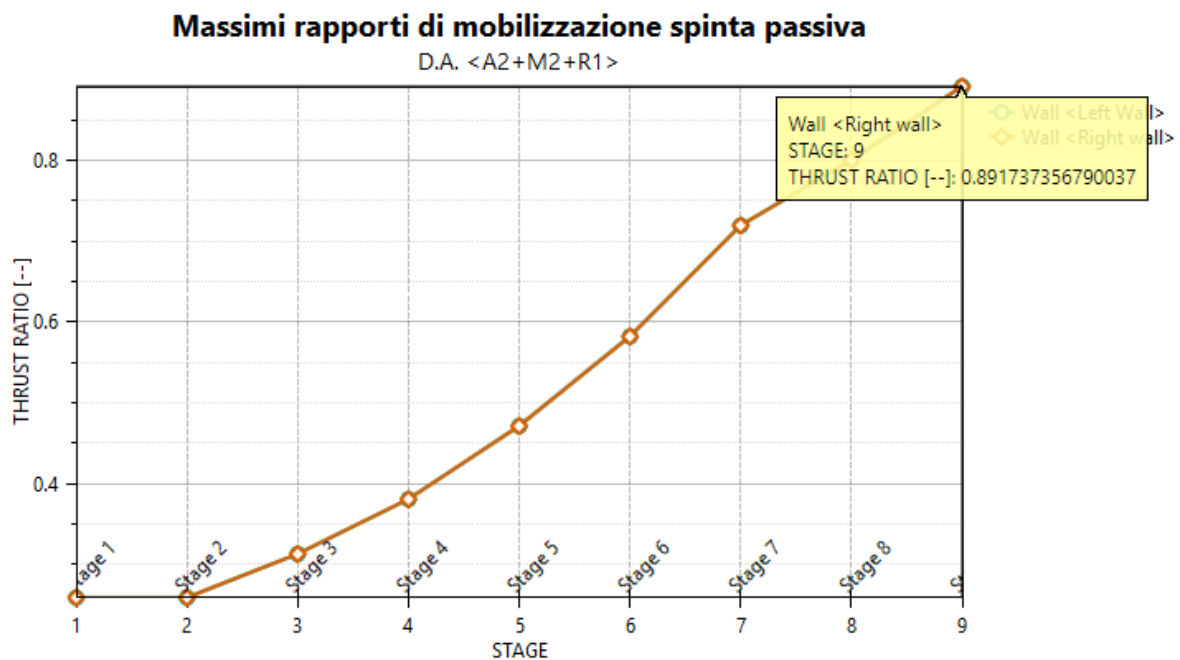
2.4.8 Verifica della resistenza del terreno

Durante le fasi di calcolo il programma determina il valore della massima spinta passiva necessaria per l'equilibrio del sistema e lo confronta con la massima spinta passiva mobilizzabile.

Il rapporto tra le due grandezze per la c.c. più gravosa viene riportato nel grafico seguente ed è sempre inferiore a **0.9** (si considera $\gamma_R=1.1$ e quindi deve risultare $\gamma_{R2}^{-1} = 1.1^{-1} = 0.9$).

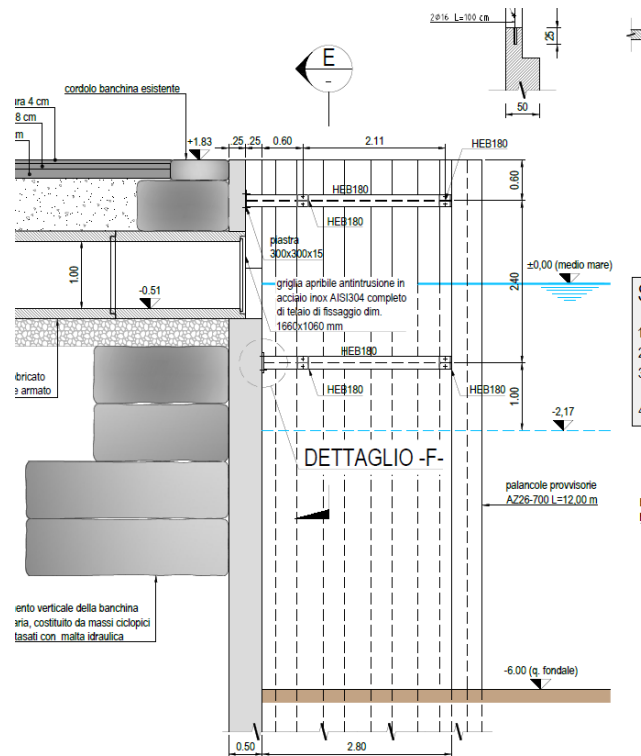
Per lo stage finale risulta $0.892 < 0.9$

La verifica è quindi soddisfatta.



3 VERIFICA AL SIFONAMENTO – SCARICO 1

Si riporta la verifica al sifonamento nella condizione peggiore per l'intervento



Tensione stabilizzante

$$\sigma_{stab} = \gamma_{sat} * D + \gamma_w * H_{w1} = 19 * (12 - 6 - 1.83) + 10 * (6 - 2.17) = 117.5 \text{ [kPa]}$$

Pressione neutra insabilizzante

$$U_{idrodinamica} = \gamma_w * (H_w + D) * ((2 * D) / (H_w + 2 * D)) = 10 * (6 + 4.17) * ((2 * 4.17) / (6 + 2 * 4.17)) = 59 \text{ [kPa]}$$

La verifica prevede che $1.3 * U_{idrodinamica} < 0.9 * \sigma_{stab}$

$$77 \text{ [kPa]} = 59 * 1.3 < 117.5 * 0.9 = 105.8 \text{ [kPa]} \text{ VERIFICATO}$$

4 RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE OPERE PROVVISORIALI – SCARICO 2

4.1 PREMESSA

La presente relazione tecnica strutturale ha per oggetto la realizzazione di un palancolato a protezione di uno scavo (opera temporanea) propedeutico alla realizzazione di uno scarico a mare, da effettuarsi a Trieste (TS).

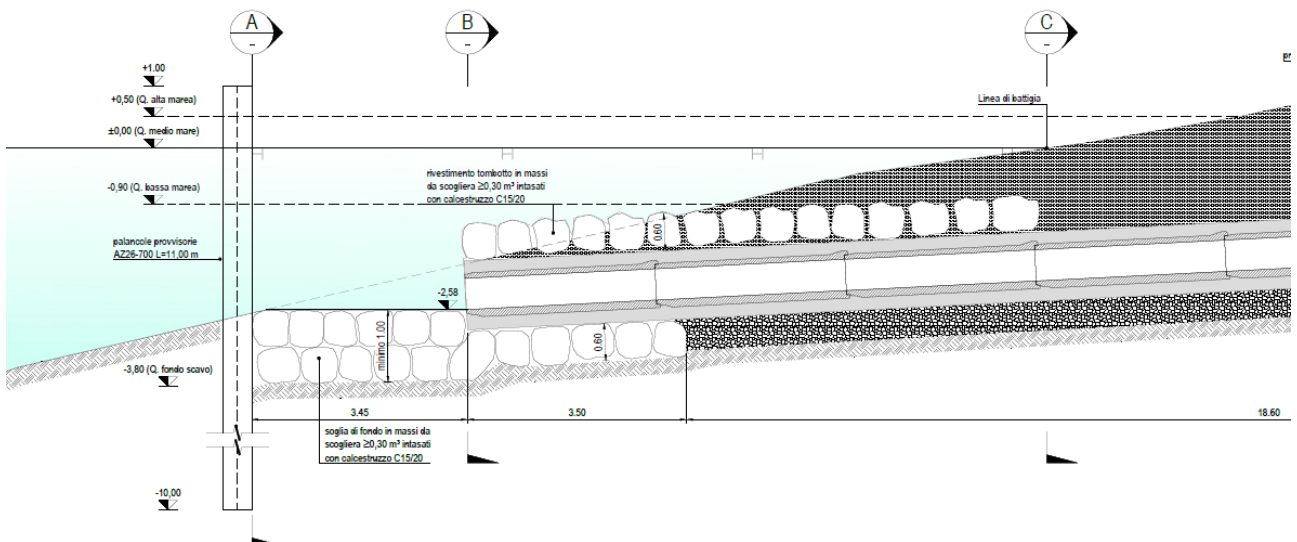
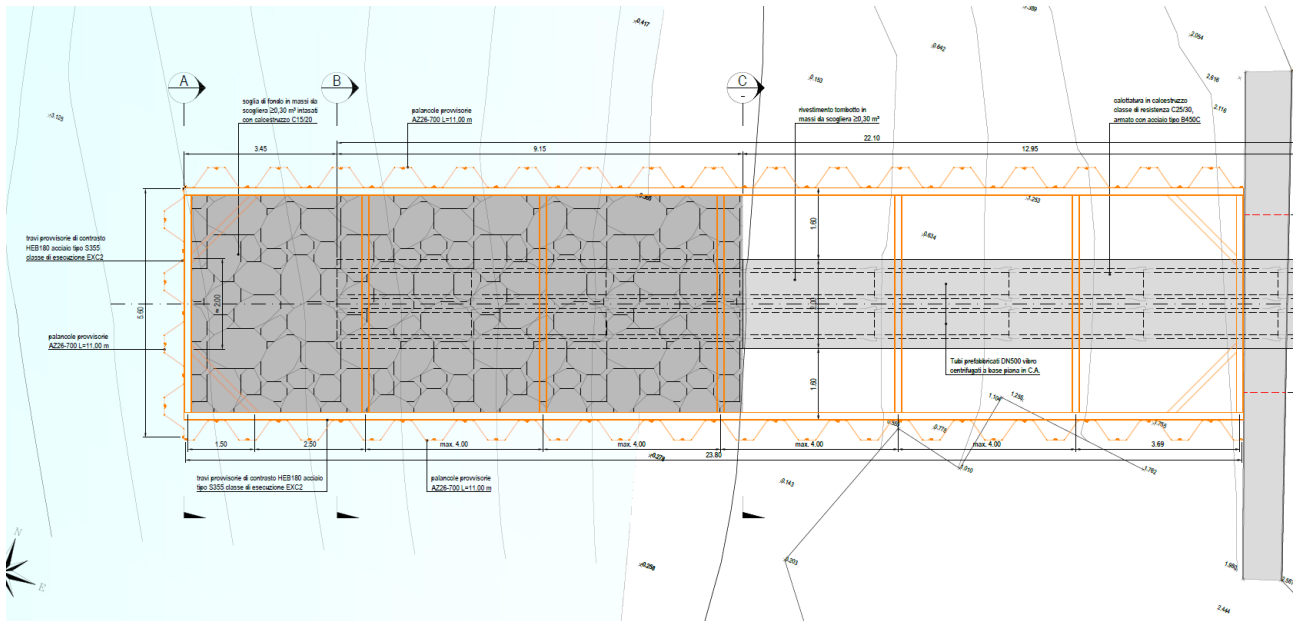
4.2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il progetto delle strutture verrà eseguito in conformità alle seguenti norme:

- D.M. 17 Gennaio 2018 : “Norme Tecniche per le Costruzioni ”
- Circolare 21 Gennaio 2019, n° 7/C.S.LL.PP

4.3 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Nelle immagini seguenti si individuano le caratteristiche dello scavo.

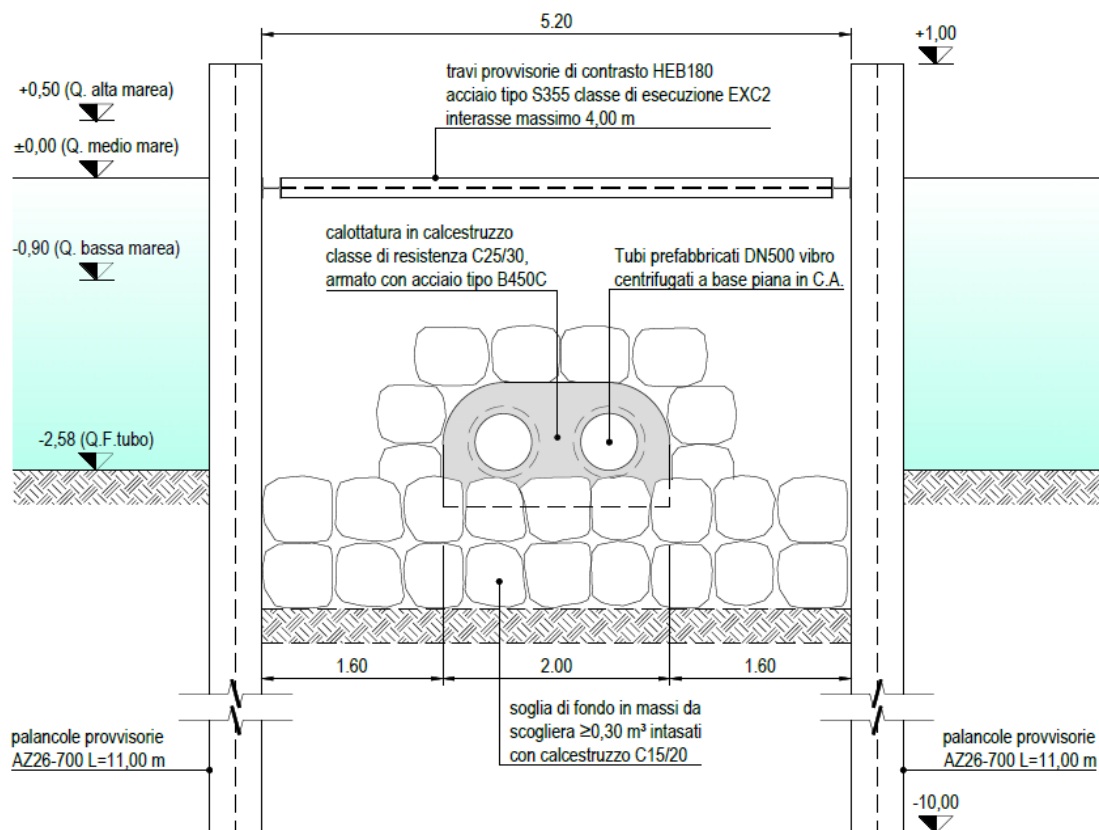


Vengono utilizzate palancole AZ26-700 di lunghezza $L=11\text{m}$.

Ai fini del calcolo si considerano tre sezioni limite.

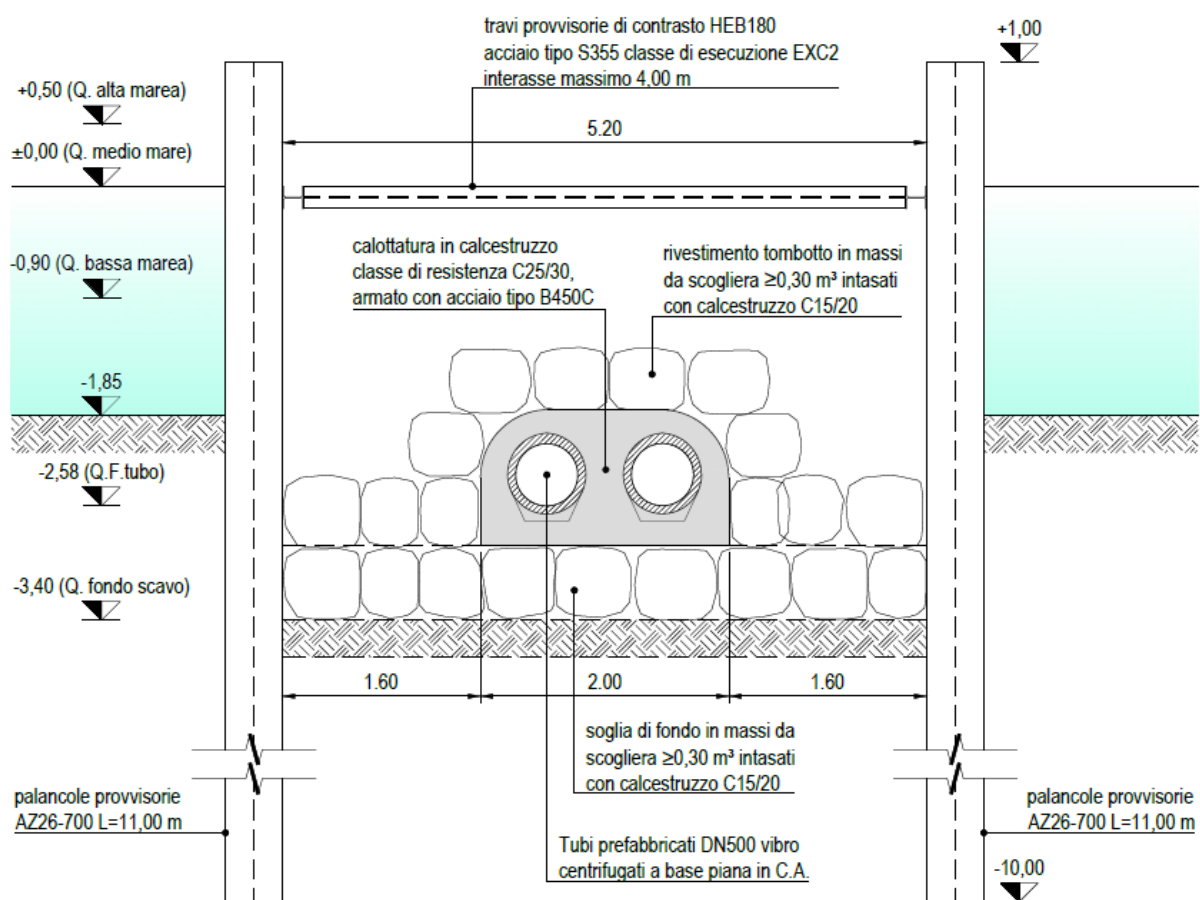
Sezione 1 (in acqua) con le seguenti quote considerate ai fini del calcolo:

- quota terreno esterno: -4.00m
- quota max acqua esterna: $+0.50\text{m}$
- quota terreno interno a fine scavo -4.00m
- top paratia: $+1.00\text{m}$
- bottom paratia: -10.00m
- quota contrasto: $\pm 0.00\text{m}$



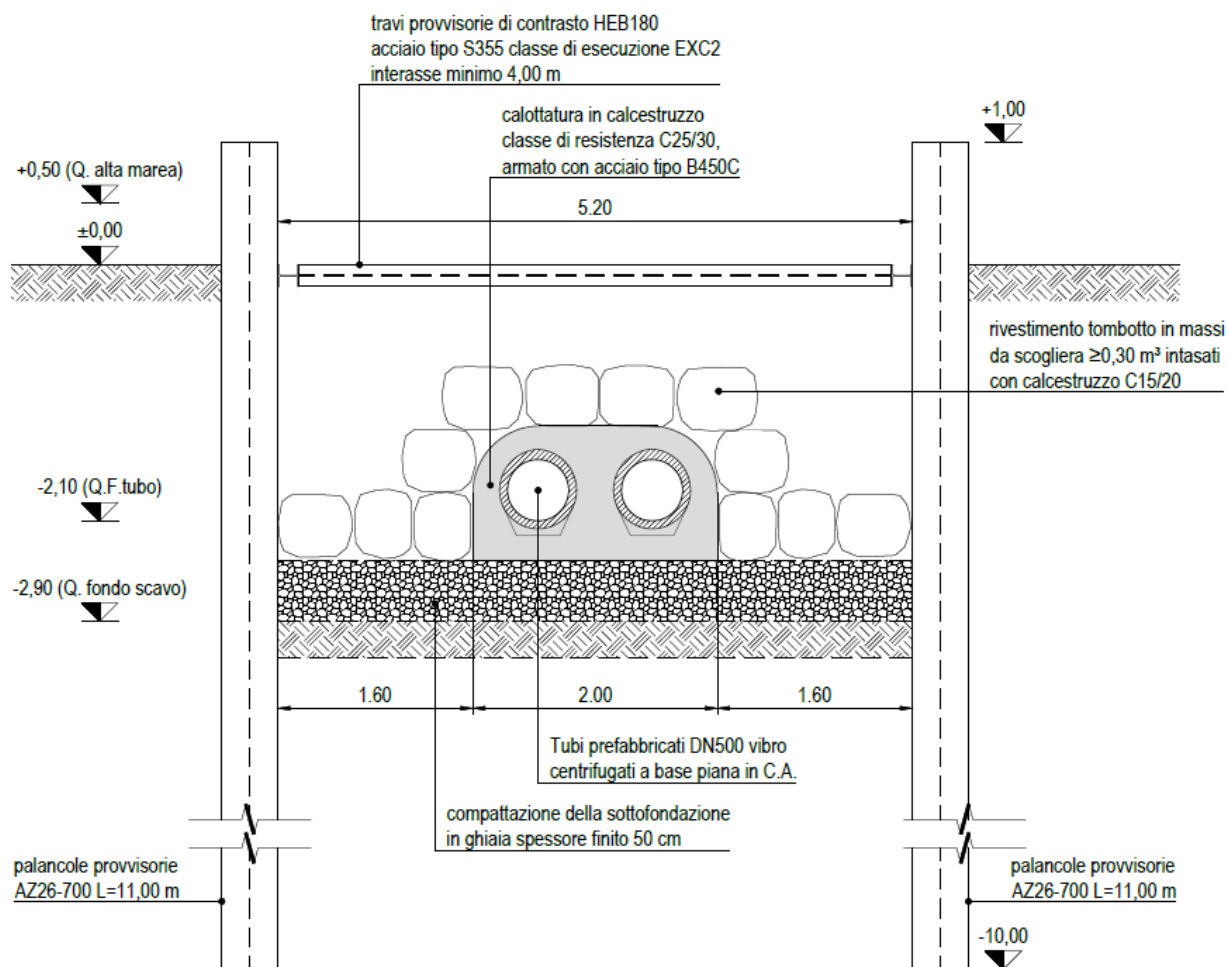
Sezione 2 (controterra tipo 1) con le seguenti quote considerate ai fini del calcolo:

- quota terreno esterno: -0.75m
- quota max acqua esterna: +0.50m
- quota terreno interno a fine scavo -3.75m
- top paratia: +1.00m
- bottom paratia: -10.00m
- quota contrasto: ± 0.00 m (attivato con scavo interno a quota -1.50m)



Sezione 3 (controterra tipo 2) con le seguenti quote considerate ai fini del calcolo:

- quota terreno esterno: $\pm 0.00\text{m}$
- quota max acqua esterna: $+0.50\text{m}$
- quota terreno interno a fine scavo -3.25m
- top paratia: $+1.00\text{m}$
- bottom paratia: -10.00m
- quota contrasto: $\pm 0.00\text{m}$ (attivato con scavo interno a quota -1.50m)



5.20m

Per entrambe le zone si prevede l'utilizzo di trave corrente perimetrale di contrasto HEB180 in acciaio S355 in testa alla paratia e puntello in HEA180 in acciaio S355 con interasse massimo 4.00metri.

Le caratteristiche statiche delle palancole tipo AZ26-700 (realizzate in acciaio S275) sono le seguenti:

Sezione	Dimensioni				Il peso		Momento d'inerzia	Modulo di sezione
	b	h	t	s				
	mm	mm	mm	mm	kg/m	kg/m ²	cm ⁴ /m	cm ³ /m
AZ 26-700	700	460	12,2	12,2	102,9	146,9	59 720	2 600

Le fasi di realizzazione dell'opera sono le seguenti:

- abbassamento terreno fino a quota massima $\pm 0.00\text{m}$
- posizionamento palancole (da livello $+1.00\text{m}$ a livello -9.00m);
- scavo fase 1 fino a quota -1.50m
- realizzazione dei puntelli (a quota $+1.00\text{m}$);
- sezione A-A (in acqua): abbassamento livello acqua interno fino a quota -4m (dislivello acqua interno/esterno pari a circa 4.50metri);
- sezione B-B (controterra tipo 1): realizzazione scavo fino a quota -3.75m (dislivello terreno interno/esterno pari a circa 3.00metri e altezza acqua esterna rispetto terreno esterno 1.25m);
- sezione C-C (controterra tipo 2): realizzazione scavo fino a quota -3.25m (dislivello terreno interno/esterno pari a circa 3.25metri e altezza acqua esterna rispetto terreno esterno 0.50m).

4.4 SEZIONE 1 (IN ACQUA)

4.4.1 Descrizione modello di calcolo

Il calcolo dell'opera viene svolto mediante il software "Paratie Plus", che consente di:

- schematizzare la geometria dell'opera, introdurre i carichi e i vincoli opportuni;
- introdurre le caratteristiche del terreno, che viene schematizzato come suolo elastico alla Winkler.

La parete utilizzata nel modello di calcolo rappresenta la palancona, mentre i vincoli rappresentano le opere di contrasto. Le spinte dell'acqua (sia interna che esterna) vengono modellate come carichi triangolari sulla parete e carichi di superficie sul terreno.

Il modello di calcolo consente di creare delle fasi, per ciascuna delle quali vengono definiti e attivati carichi e vincoli esterni. In particolare viene creata una fase per ogni abbassamento pari ad un metro del livello dell'acqua lato interno (definendo quindi una diversa spinta dell'acqua sulla paratia lato interno ed un diverso carico verticale dell'acqua stessa).

Stratigrafia

Vengono utilizzati i seguenti parametri (desumibili dalla relazione geologica per gli strati nei quali viene posizionata la palancona):

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 22^\circ$$

Combinazioni di carico

I carichi agenti sulla paratia vengono combinati generando tutti gli Approcci normativi previsti dal DM 17/01/18 per le paratie.

Si specifica che tale opera è temporanea. Non verranno quindi considerate le azioni sismiche.

Vincolo

Il vincolo in testa rappresenta l'elemento di contrasto costituito da una serie di puntoni in acciaio, con sezione HEA180, lunghezza $L=5.20\text{m}$, posti ad interasse massimo 4.00m tra loro.

Al vincolo in testa viene definita la seguente rigidezza:

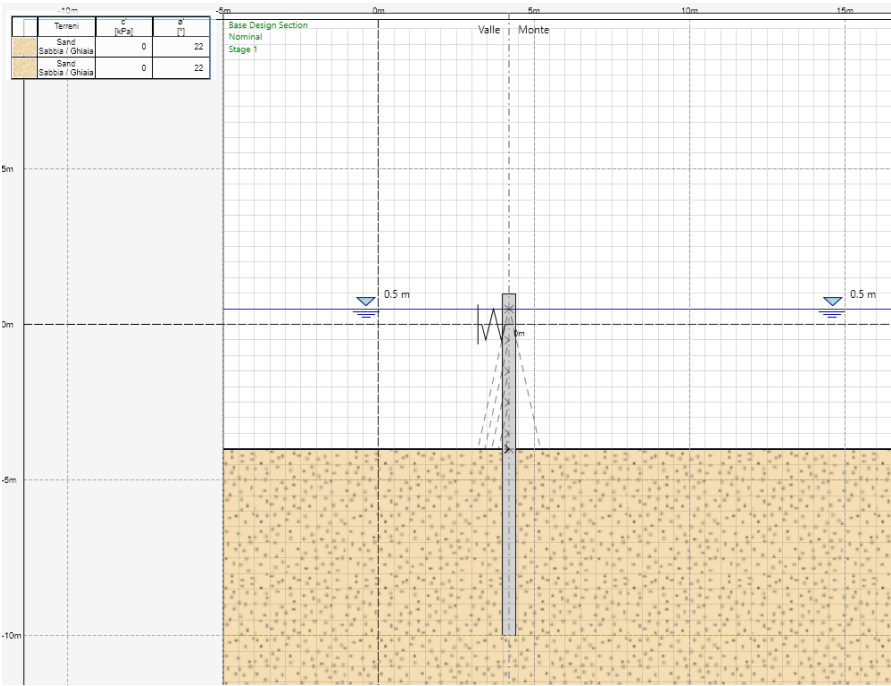
$$k_{\text{puntone}} = (EA/L) = (210000 \cdot 6530) / 5200 = 263744 \text{ N/mm} = 263711 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{vincolo}} = k_{\text{puntone}} / \text{interasse} = 263711 / 4\text{m} = 65927 \text{ kN/m/m}$$

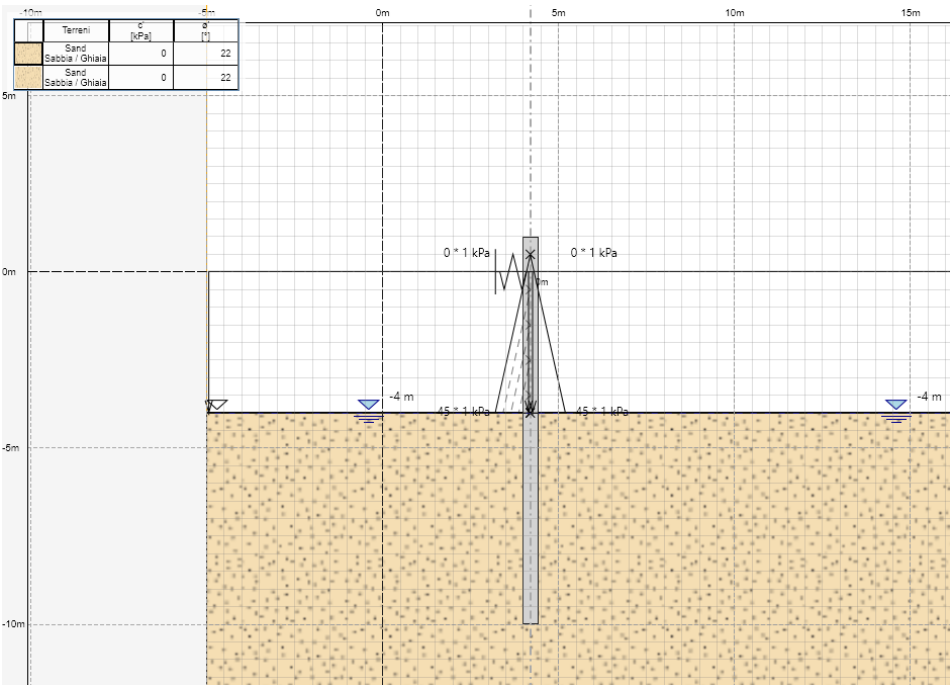
4.4.2 Rappresentazione delle fasi

Nelle immagini seguenti gli elementi tratteggiati (vincoli e carichi) non sono attivi nelle rispettive fasi.

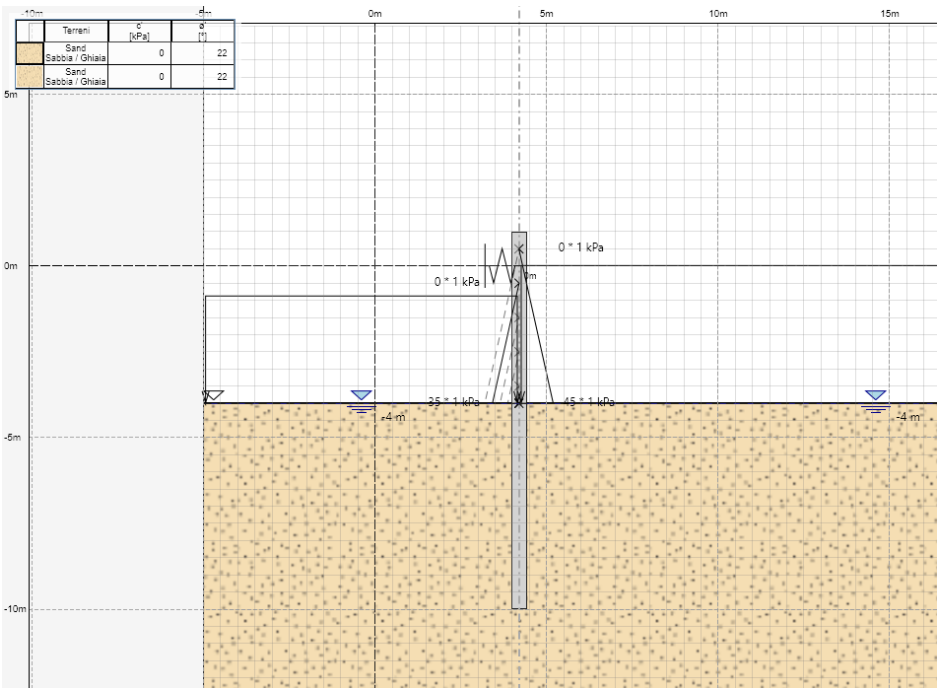
Stage 1



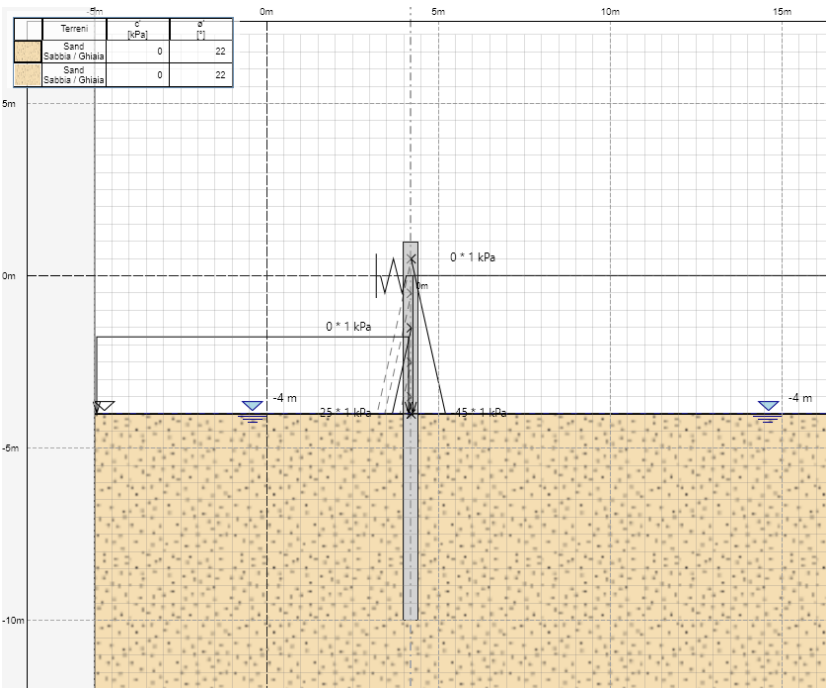
Stage 2



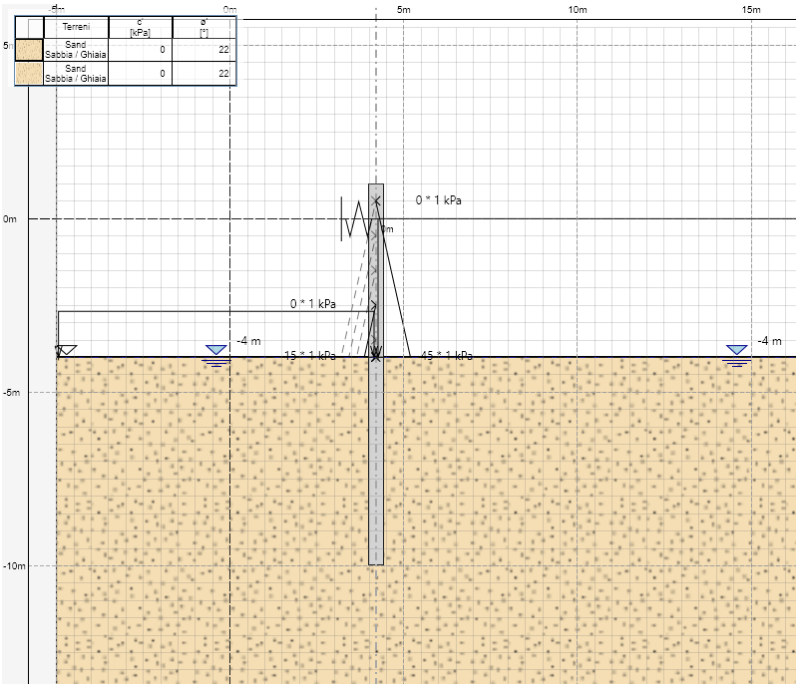
Stage 3



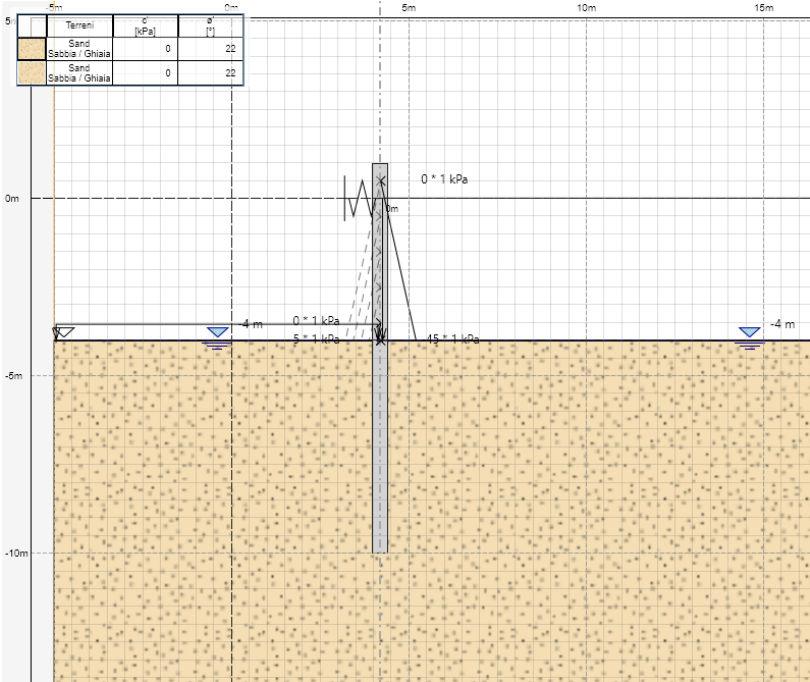
Stage 4



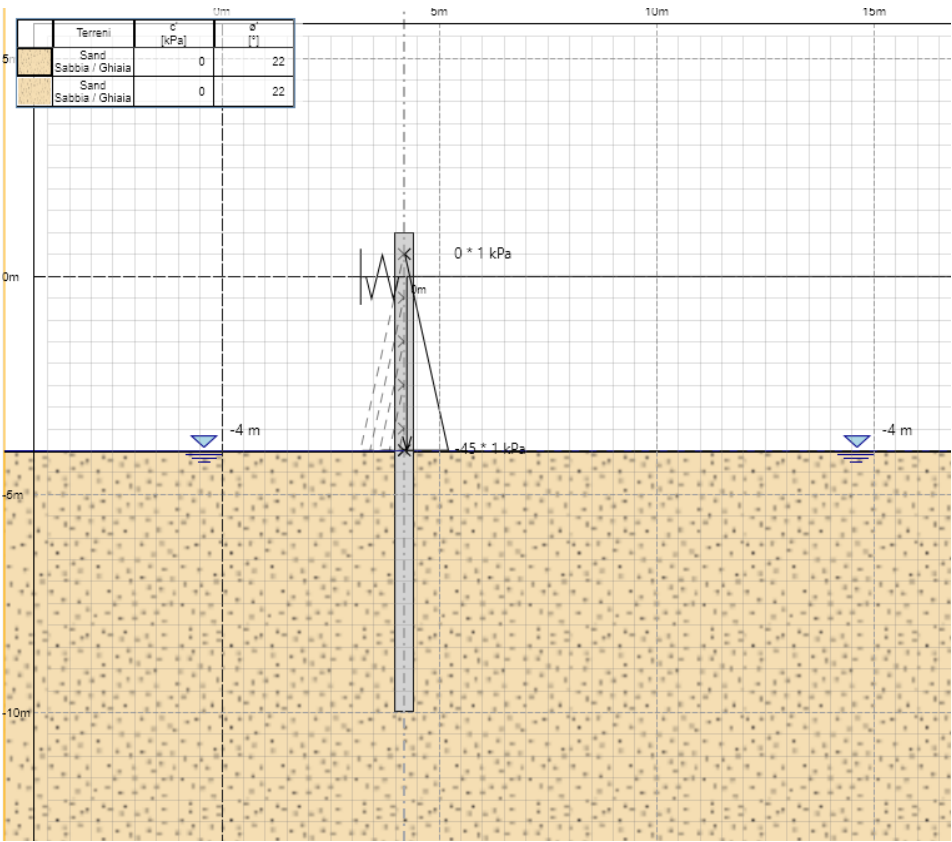
Stage 5



Stage 6



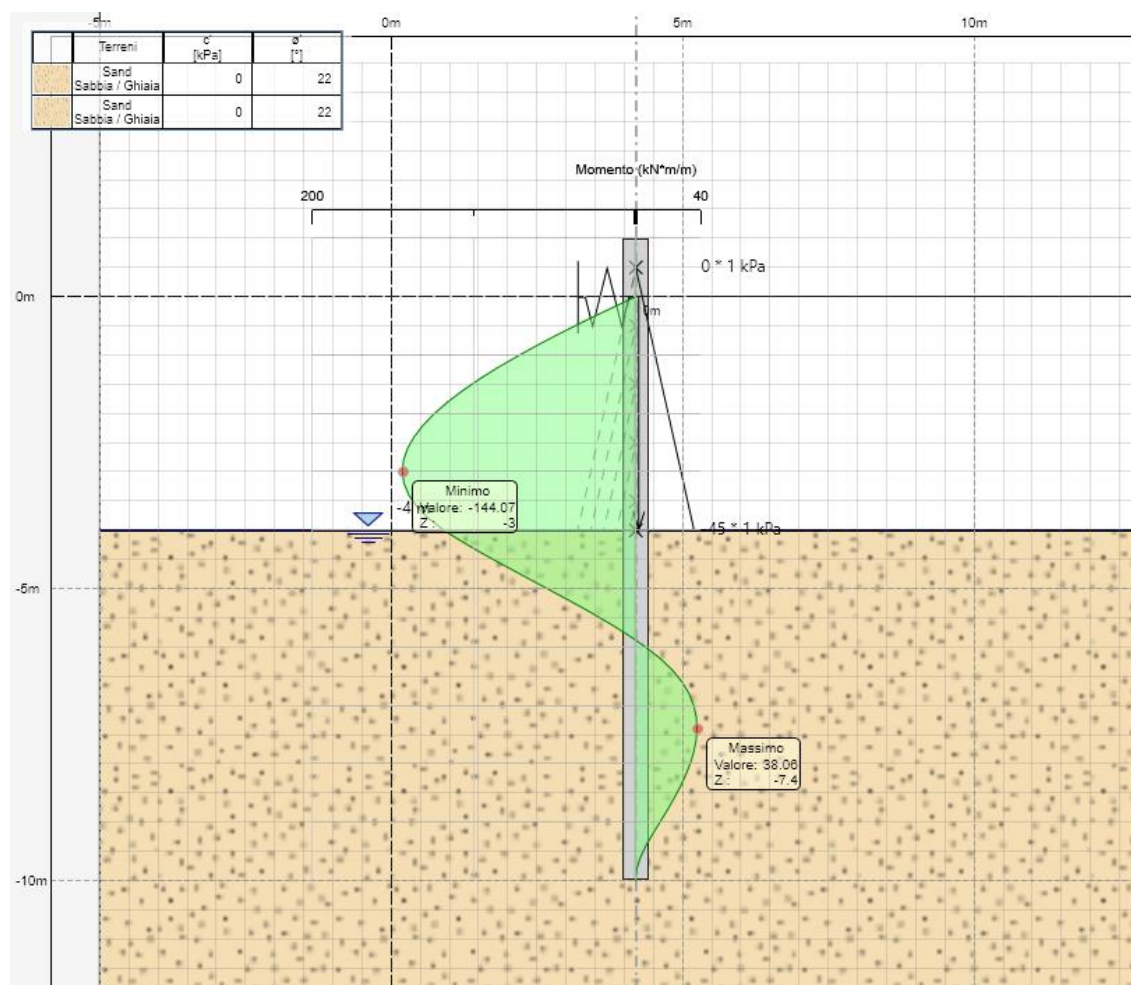
Stage 7



4.4.3 Sollecitazioni e spostamenti

Momento flettente [kNm/m] – (A1+M1+R1)

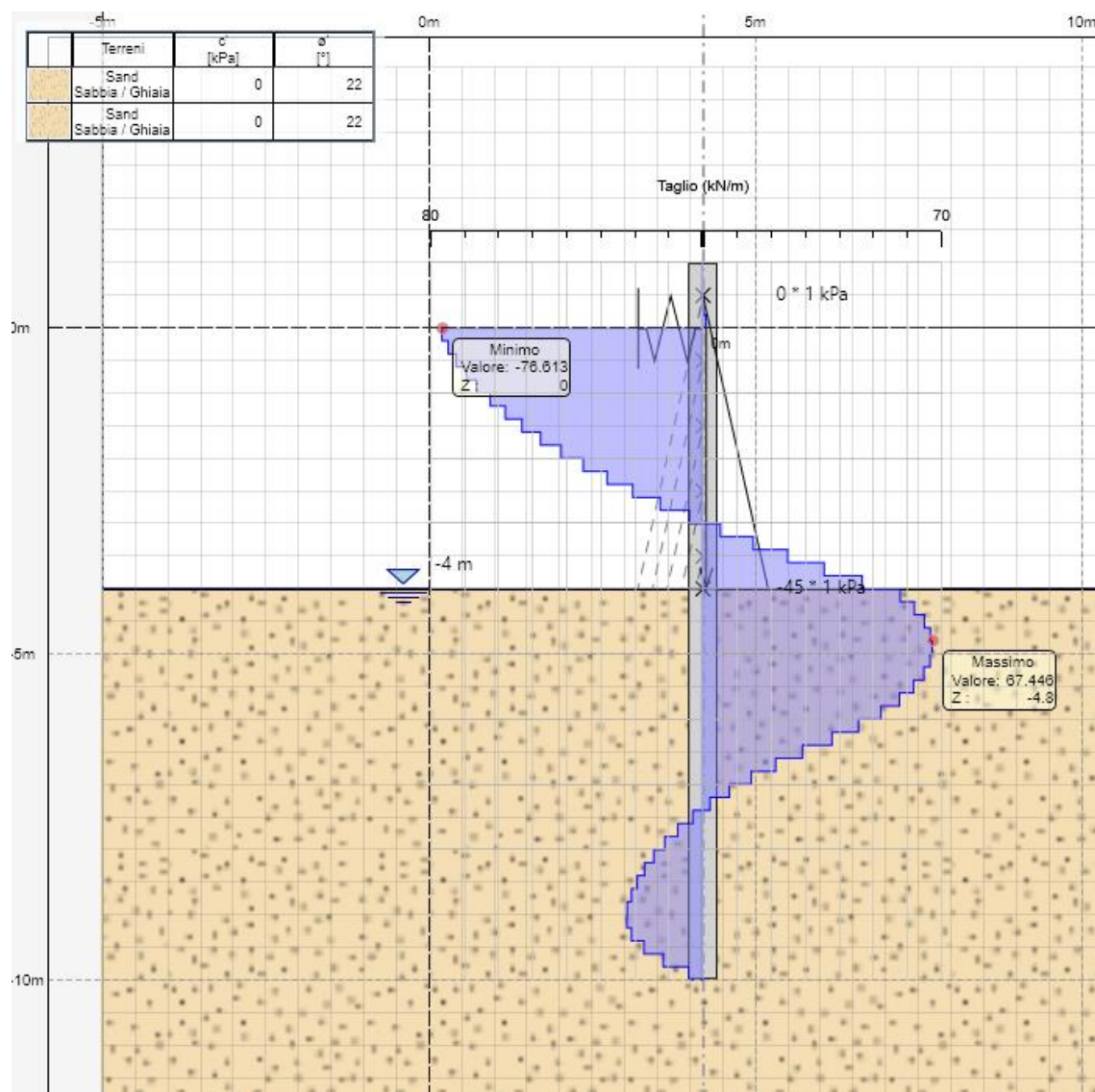
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$M_{Sd,max} = 144 \text{ kNm/m}$$

Taglio [kN/m] – (A1+M1+R1)

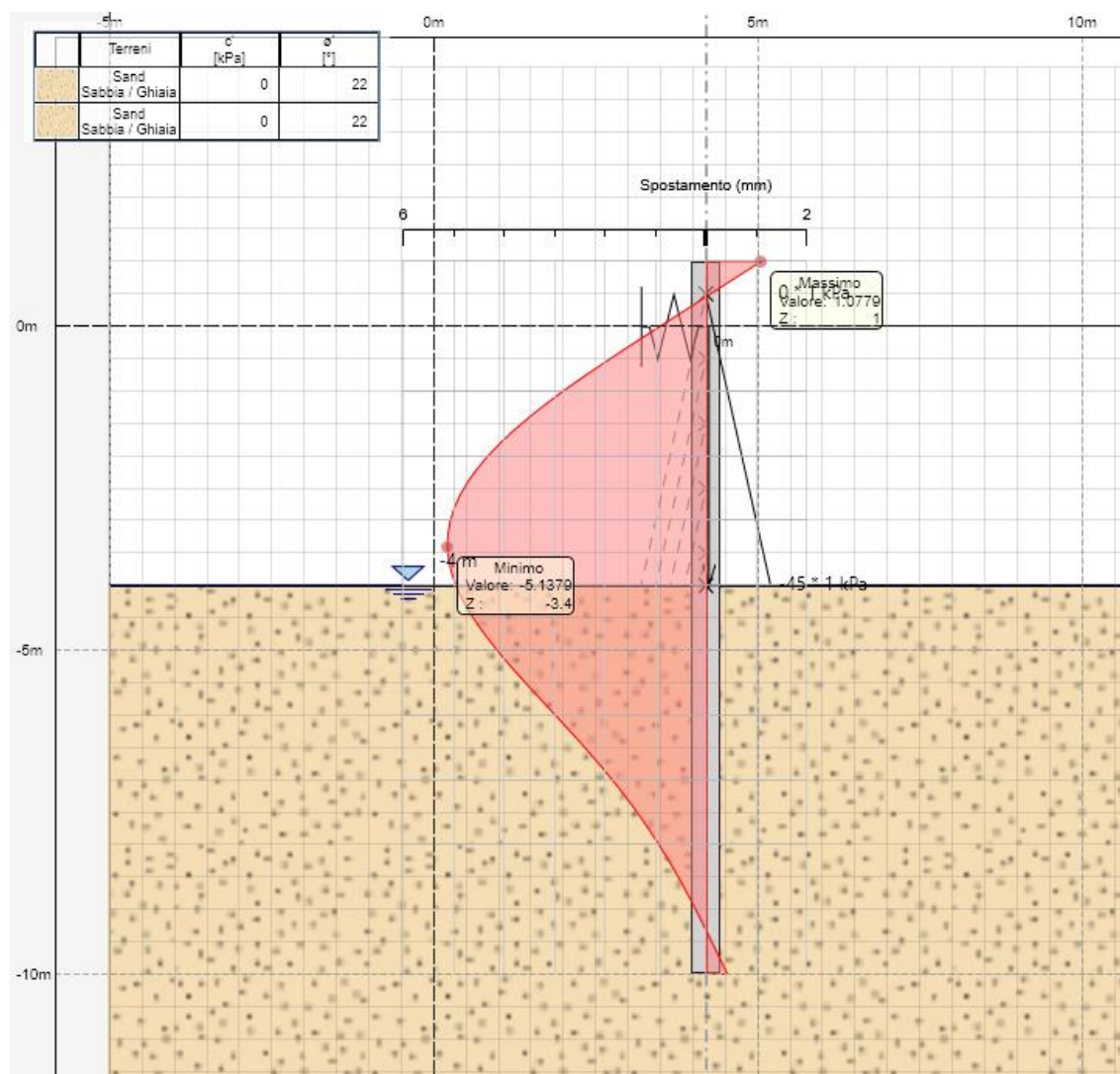
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$V_{Sd,max} = 77 \text{ kN/m}$$

Inviluppo spostamenti [mm] – Stato Limite di Esercizio (RARA)

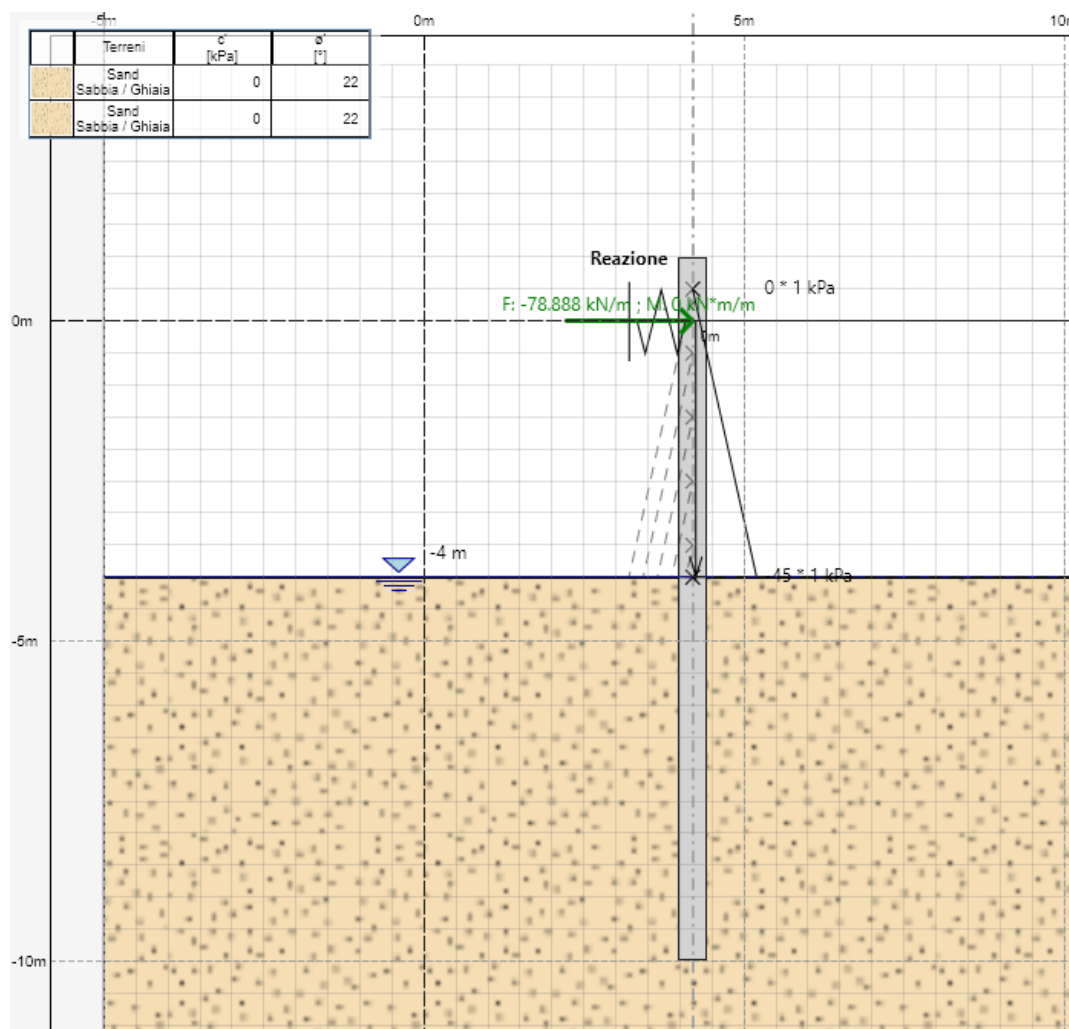
Si riporta lo spostamento nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$\delta_{\max} = 5.2 \text{ mm}$$

Reazioni vincolari sistema di contrasto [kN/m] – (A1+M1+R1)

Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$F_{Sd} = 79 \text{ kN/m}$$

4.4.4 Verifica del palancolato allo SLU

Le caratteristiche statiche di un metro lineare di paratia valgono:

Area: $A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$
Momento d'inerzia: $J = 59720 \text{ cm}^4/\text{m}$
Modulo di resistenza elastico: $W = 2600 \text{ cm}^3/\text{m}$.

Le sollecitazioni del modello di calcolo si riferiscono ad un metro lineare di sezione.

Momento flettente agente: $M_{Ed} = 144 \text{ kNm/m}$
Taglio agente: $V_{Ed} = 77 \text{ kN/m}$

Tensione sul profilo:

$$\sigma = M/W = 144 \times 10^6 \text{ Nmm} / (2600 \times 10^3 \text{ mm}^3) = 56 \text{ MPa}$$

$$\tau = V/A = 77 \times 10^3 \text{ N} / 18700 \text{ mm}^2 = 4.12 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tensione ideale: } \sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 57 \text{ Mpa} < f_{yk}/\gamma_s = 240/1.05 = 228 \text{ MPa}$$

La verifica è soddisfatta

4.4.5 Verifica delle travi di ripartizione allo SLU

Viene utilizzato un profilo HEB180 in acciaio S355.

Cautelativamente si considera una trave su due appoggi di luce 4.00m, con un carico uniformemente distribuito pari a 79 kN/m.

Risulta:

$$M_{Sd} = q \cdot L^2 / 8 = 79 \cdot 4^2 / 8 = 158 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = q \cdot L / 2 = 79 \cdot 4 / 2 = 158 \text{ kN}$$

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE			
SOLLECITAZIONI		Membratura principale	
M_y	158.00 kN*m		
M_z	0.00 kN*m		
T_y	158 kN		
T_z	0 kN		
N	0 kN	0	
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355
h	180 mm	f_{yk}	355 MPa
b	180 mm	f_{tk}	510 MPa
t_w	8.5 mm	γ_{M0}	1.05
t_f	14 mm	γ_{M1}	1.05
r_1	14 mm	γ_{M2}	1.25
ρ_y	7.66 cm	f_{yd}	338 MPa
ρ_z	4.57 cm	E	210000 MPa
J_y	3831 cm ⁴	n. fori=	0
J_z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm
W_{y_el}	426 cm ³	sp. foro=	0 mm
W_{y_pl}	481 cm ³		
W_{z_el}	151 cm ³		
W_{z_pl}	231 cm ³		
A	65.30 cm ²		
A_v	20.01 cm ²		
A_{net}	65.30 cm ²		
VERIFICHE A FLESSIONE DEVIATA		Calcolo: PLASTICO	
M_{cRdy}	162.76 kNm		$= w_y f_{yk} / \gamma_{M0}$
M_{cRdz}	78.10 kNm		$= w_z f_{yk} / \gamma_{M0}$
$M_y / M_{pRdy} + M_z / M_{pRdz}$	0.97 <= 1	OK	
VERIFICHE A TAGLIO			
$V_{c,Rd}$	390.59 kN	> V	OK $= A_v f_{yk} / ((3^{0.5}) \gamma_{M0})$
VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO			
verifica non necessaria			

4.4.6 Verifica del puntone allo SLU

Viene utilizzato un puntone HEB180 in acciaio S355, di lunghezza massima 5.20m e larghezza di influenza 4.00m. La reazione massima è pari a $q^*i=79*4=316\text{kN}$.

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE				
SOLLECITAZIONI		Membratura principale		
M _y	0.00 kN*m			
M _z	0.00 kN*m			
T _y	0 kN			
T _z	0 kN			
N	316 kN	ASTA COMPRESSA		
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE		
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355	
h	180 mm	f _{yk}	355 MPa	
b	180 mm	f _{tk}	510 MPa	
t _w	8.5 mm	Y _{M0}	1.05	
t _f	14 mm	Y _{M1}	1.05	
r ₁	14 mm	Y _{M2}	1.25	
ρ _y	7.66 cm	f _{yd}	338 MPa	
ρ _z	4.57 cm	E	210000 MPa	
J _y	3831 cm ⁴	n. fori=	0	
J _z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm	
W _{y_el}	426 cm ³	sp.foro=	0 mm	
W _{y_pl}	481 cm ³			
W _{z_el}	151 cm ³			
W _{z_pl}	231 cm ³			
A	65.30 cm ²			
A _v	20.01 cm ²			
A _{net}	65.30 cm ²			
L _{oy}	5200 mm			
L _{oz}	5200 mm			
Limitazione snellezza (§4.2.4.1.3.1 NTC18)		Verifica		
L _{oy} /r _z	114 < 200	OK		
L _{oz} /r _y	68 < 200	OK		
VERIFICA A COMPRESSIONE				
N _{c,Rd} =	2207.76 kN	>	N	OK = A f _{yk} /Y _{M0}

VERIFICHE DI INSTABILITA' A COMPRESSIONE				
STABILITA' DELLE MEMBRATURE - ASTE COMPRESSE				
§4.2.1.3.1 NTC18				
$N_{cr,y}$	2936.46 kN	$\pi^2 E J_y / l_{0z}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse y-y)	
$N_{cr,z}$	1044.74 kN	$\pi^2 E J_z / l_{0y}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse z-z)	
λ_y	0.89	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$		
λ_z	1.49			
α	0.49	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$		
Φ_y	1.06			
Φ_z	1.93	$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$		
χ_y	0.61			
χ_z	0.32	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$		
χ_{min}	0.32			
$N_{b,Rd}$	701.92 kN			
$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	0.45	<	1	Verifica OK

4.4.7 Verifica della rotazione rigida della paratia attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma alla soluzione garantisce che la verifica della rotazione della palancola attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta.

I grafici relativi a spostamenti e sollecitazioni riportati nei capitoli precedenti sono relativi all'ultimo step di analisi. Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di rotazione rigida.

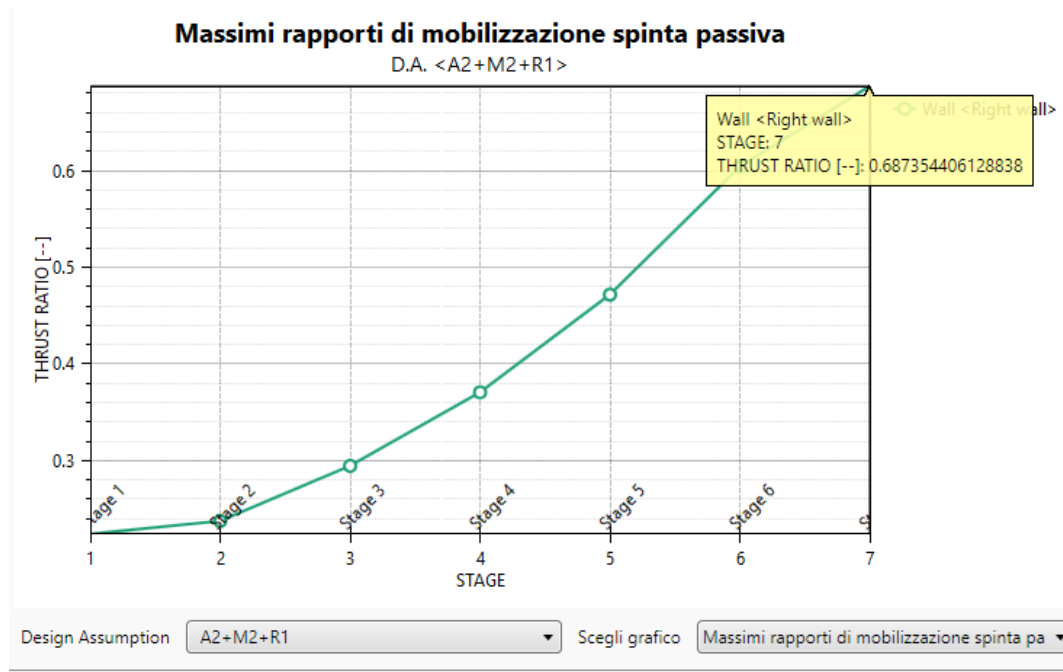
4.4.8 Verifica della resistenza del terreno

Durante le fasi di calcolo il programma determina il valore della massima spinta passiva necessaria per l'equilibrio del sistema e lo confronta con la massima spinta passiva mobilizzabile.

Il rapporto tra le due grandezze per la c.c. più gravosa viene riportato nel grafico seguente ed è sempre inferiore a **0.9** (si considera $\gamma_R=1.1$ e quindi deve risultare $\gamma_{R2}^{-1} = 1.1^{-1} = 0.9$).

Per lo stage finale risulta $0.69 < 0.9$

La verifica è quindi soddisfatta.



4.5 SEZIONE 2 (CONTROTERRA TIPO 1)

4.5.1 Descrizione modello di calcolo

Il calcolo dell'opera viene svolto mediante il software "Paratie Plus", che consente di:

- schematizzare la geometria dell'opera, introdurre i carichi e i vincoli opportuni;
- introdurre le caratteristiche del terreno, che viene schematizzato come suolo elastico alla Winkler.

La parete utilizzata nel modello di calcolo rappresenta la palancona, mentre i vincoli rappresentano le opere di contrasto. Le spinte dell'acqua (sia interna che esterna) vengono modellate come carichi triangolari sulla parete e carichi di superficie sul terreno.

Il modello di calcolo consente di creare delle fasi, per ciascuna delle quali vengono definiti e attivati carichi e vincoli esterni. In particolare viene creata una fase per ogni abbassamento pari ad un metro del livello dell'acqua lato interno (definendo quindi una diversa spinta dell'acqua sulla paratia lato interno ed un diverso carico verticale dell'acqua stessa).

Stratigrafia

Vengono utilizzati i seguenti parametri:

$$\gamma = 20 \text{ kN/mq}$$

$$\phi = 22^\circ$$

Combinazioni di carico

I carichi agenti sulla paratia vengono combinati generando tutti gli Approcci normativi previsti dal DM 17/01/18 per le paratie.

Si specifica che tale opera è temporanea. Non verranno quindi considerate le azioni sismiche.

Vincolo

Il vincolo in testa rappresenta l'elemento di contrasto costituito da una serie di puntoni in acciaio, con sezione HEA180, lunghezza $L=5.20\text{m}$, posti ad interasse massimo 4.00metri tra loro.

Al vincolo in testa viene definita la seguente rigidezza:

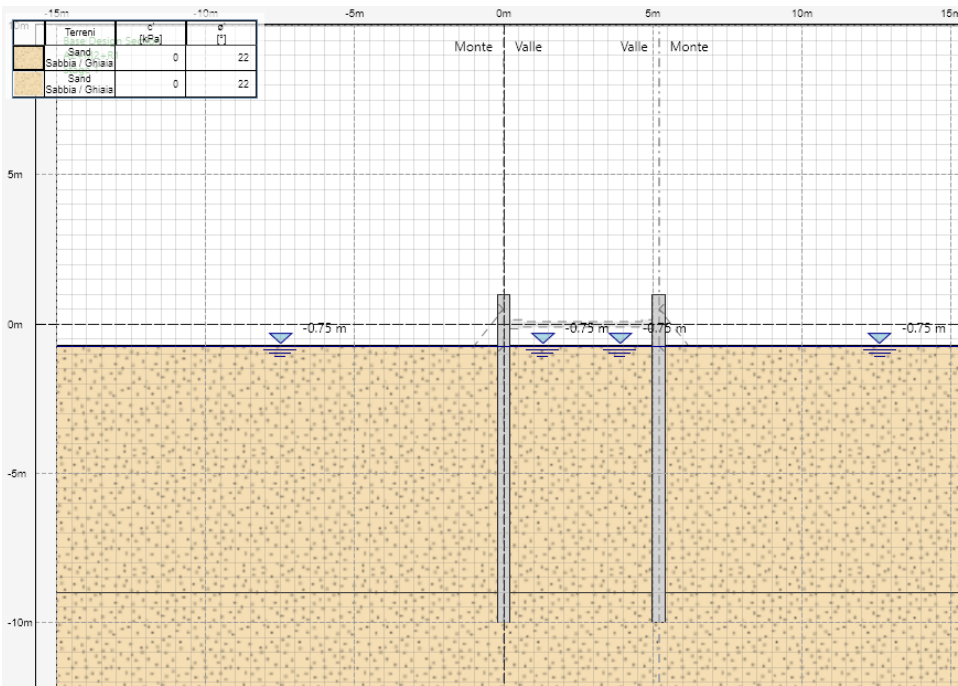
$$k_{\text{puntone}} = (EA/L) = (210000 \cdot 6530) / 5200 = 263744 \text{ N/mm} = 263711 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{vincolo}} = k_{\text{puntone}} / \text{interasse} = 263711 / 4\text{m} = 65927 \text{ kN/m/m}$$

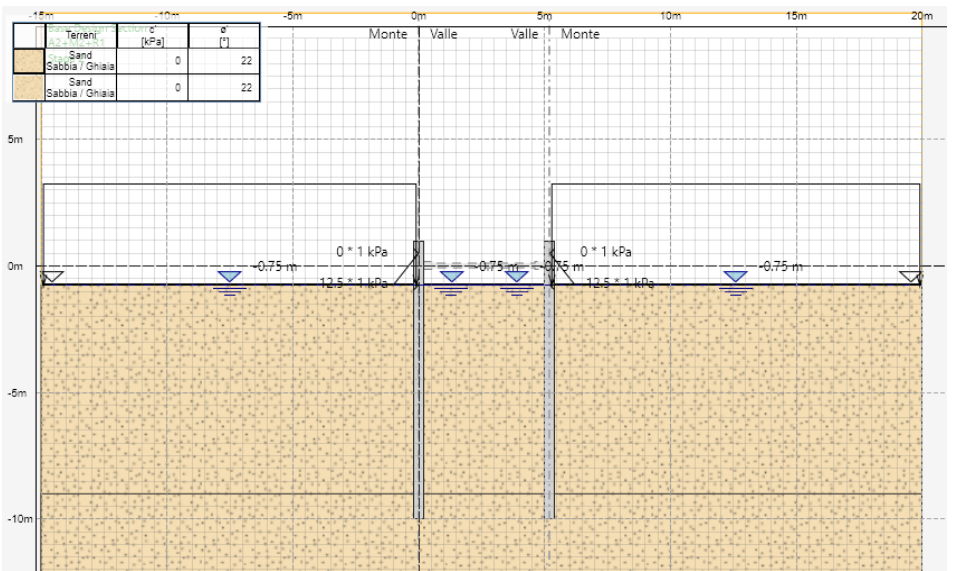
4.5.2 Rappresentazione delle fasi

Nelle immagini seguenti gli elementi tratteggiati (vincoli e carichi) non sono attivi nelle rispettive fasi.

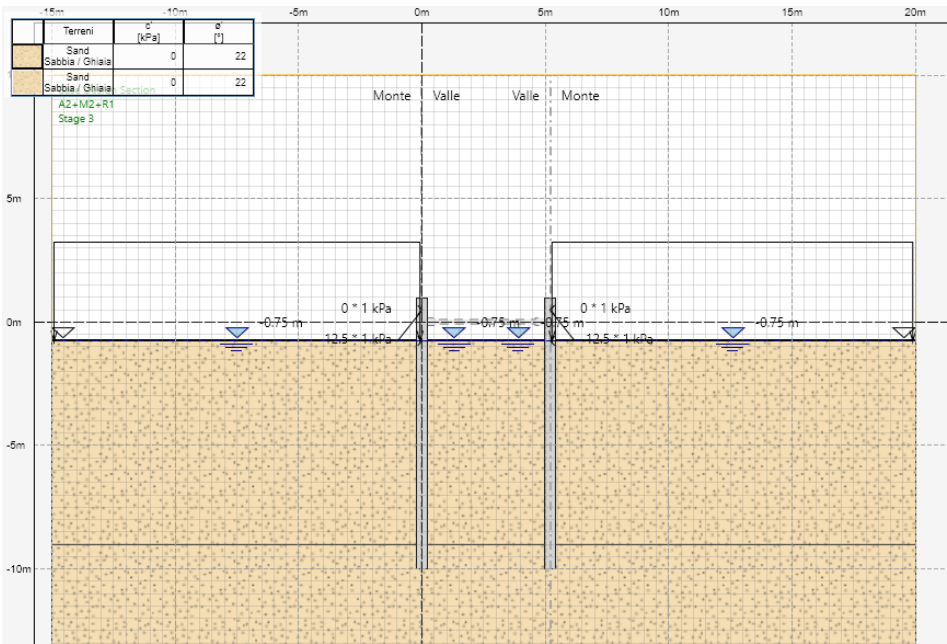
Stage 1



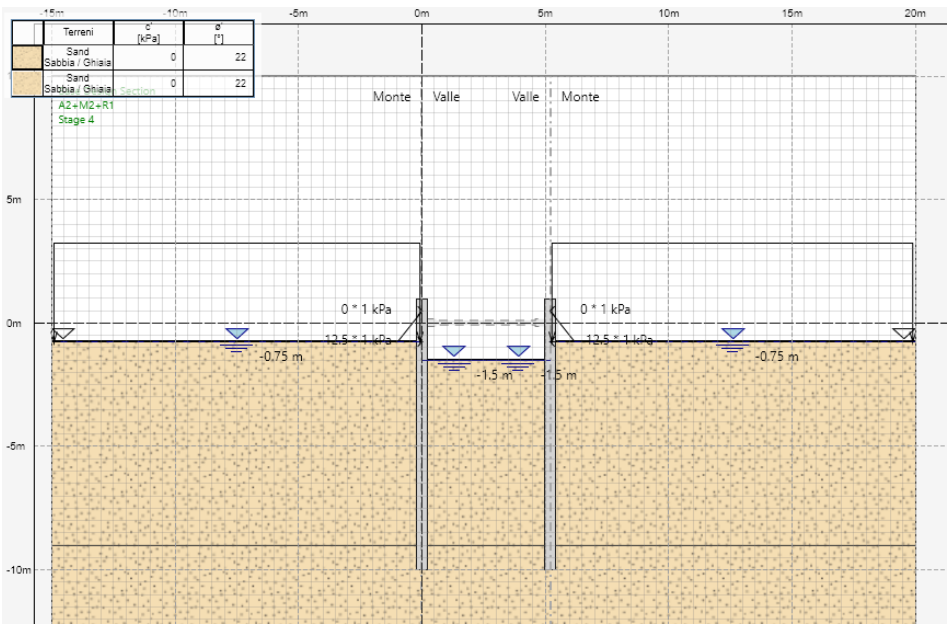
Stage 2



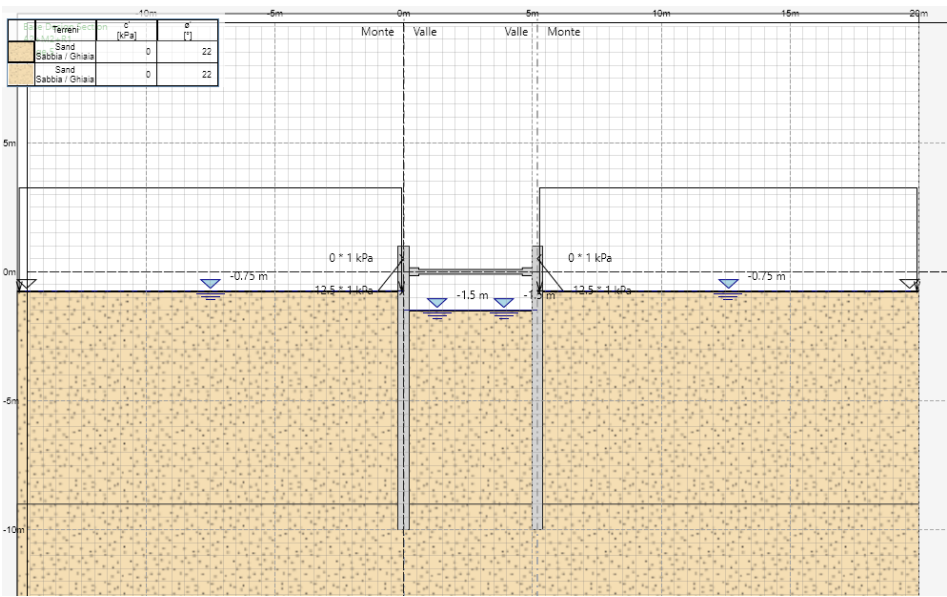
Stage 3



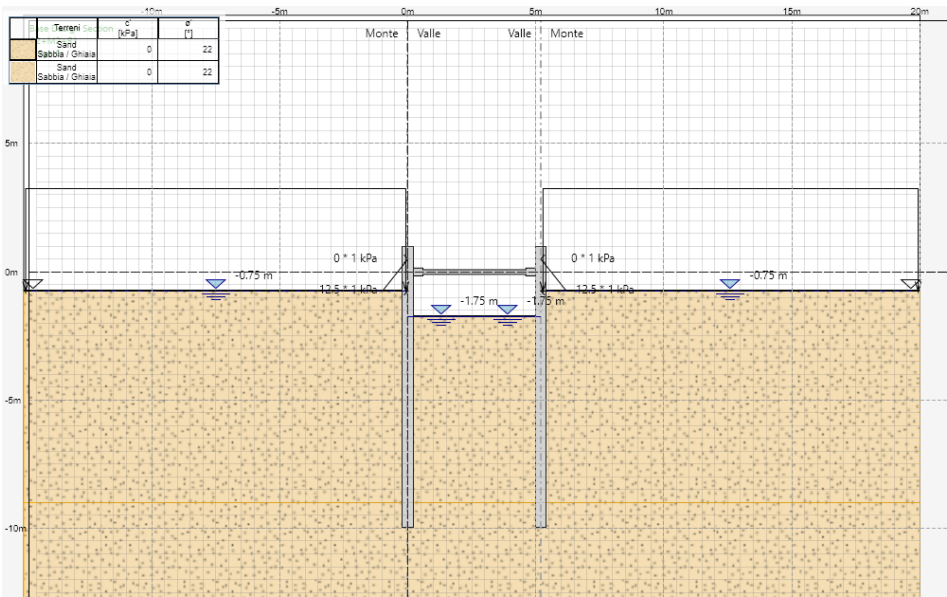
Stage 4



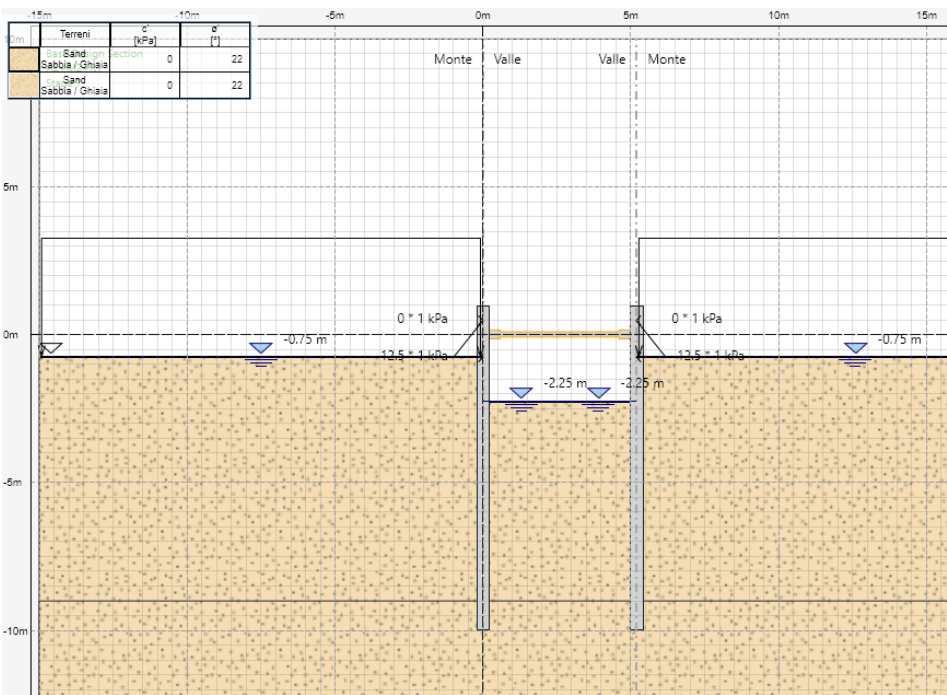
Stage 5



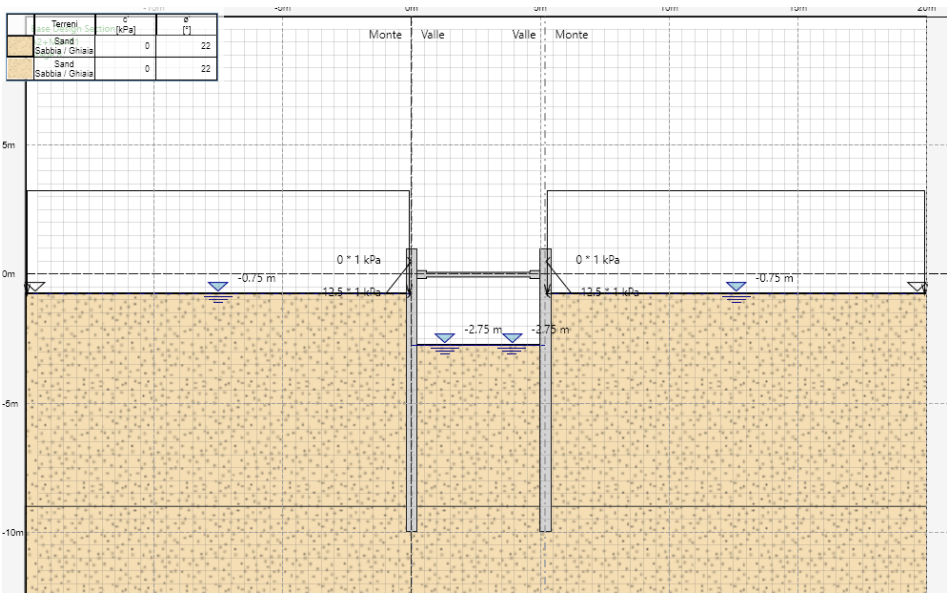
Stage 6



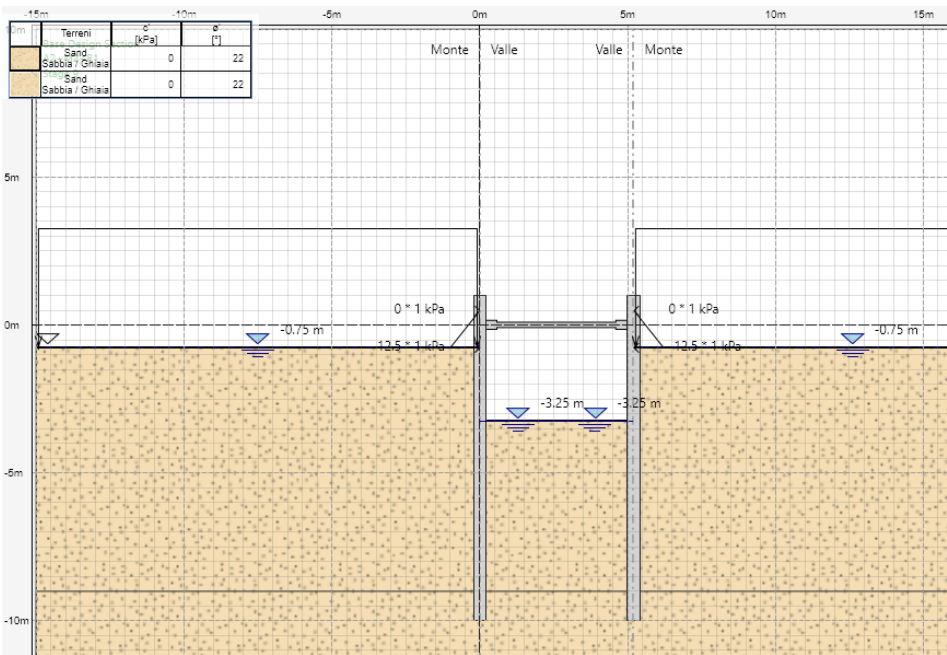
Stage 7



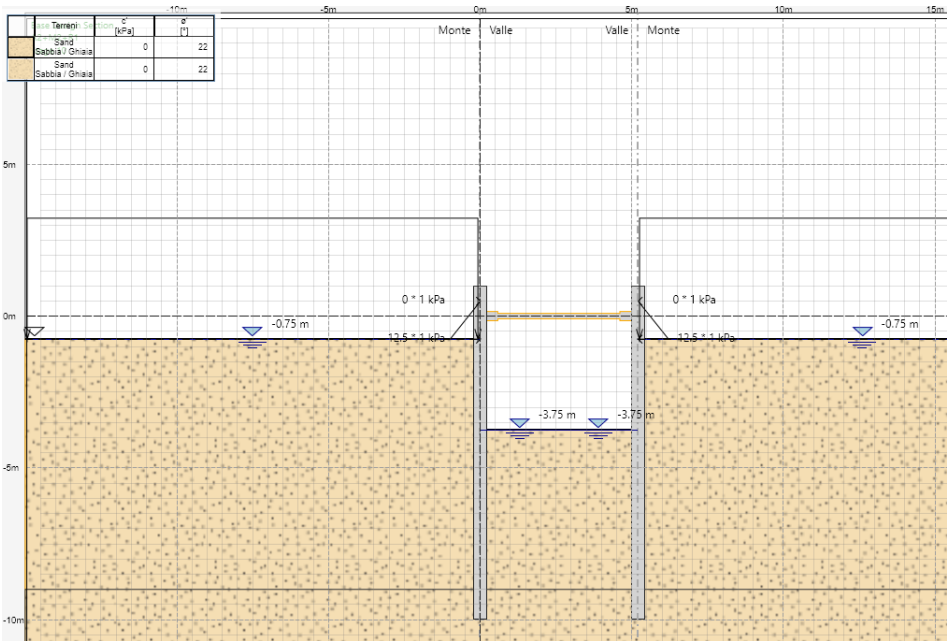
Stage 8



Stage 9



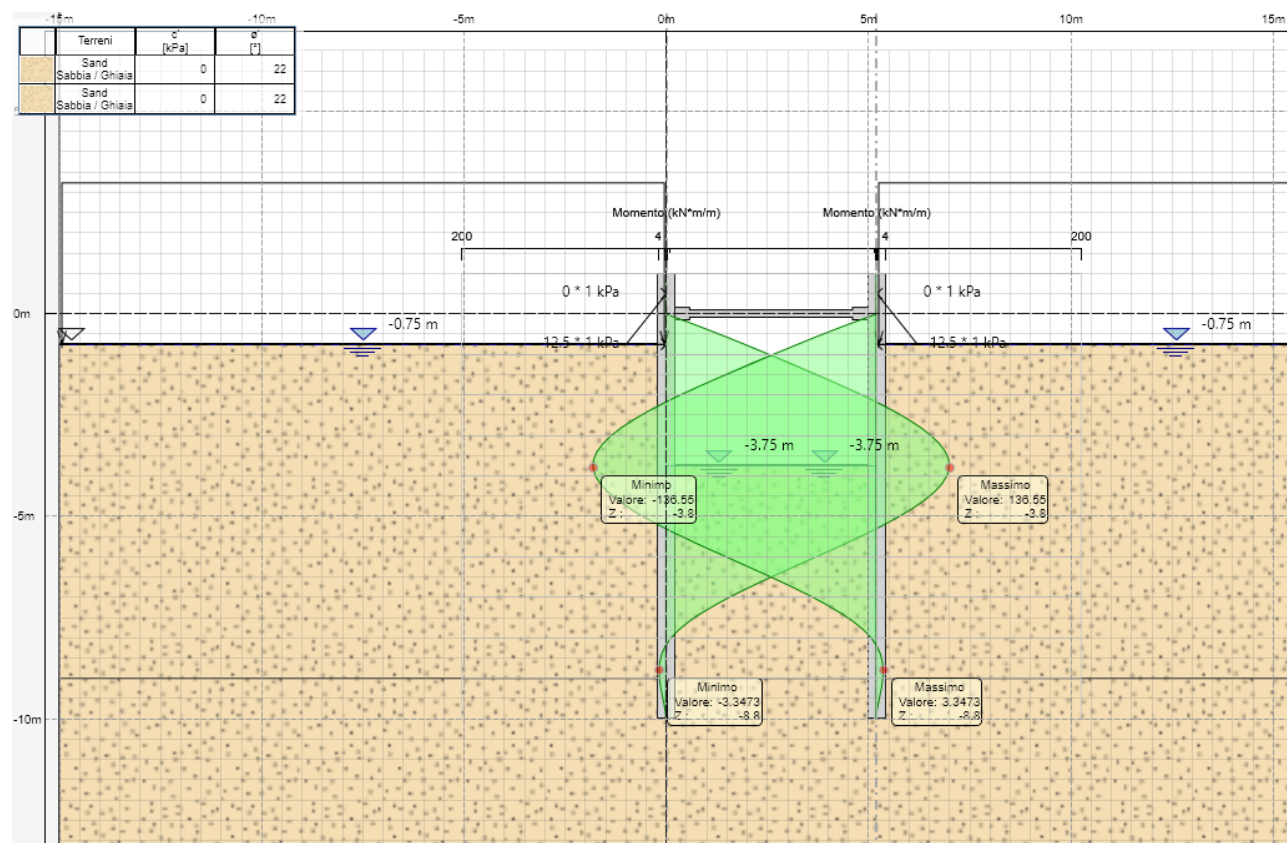
Stage 10



4.5.3 Sollecitazioni e spostamenti

Momento flettente [kNm/m] – (A1+M1+R1)

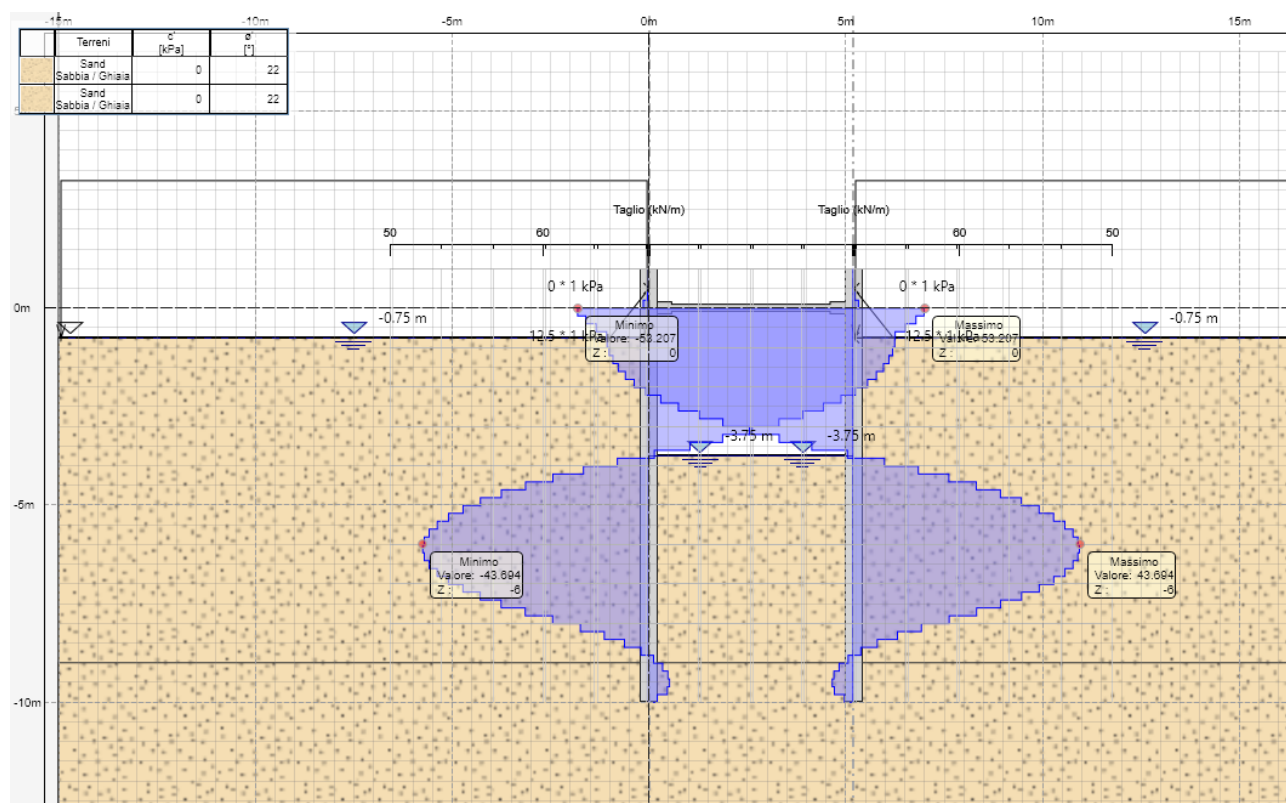
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$M_{Sd,max} = 137 \text{ kNm/m}$$

Taglio [kN/m] – (A1+M1+R1)

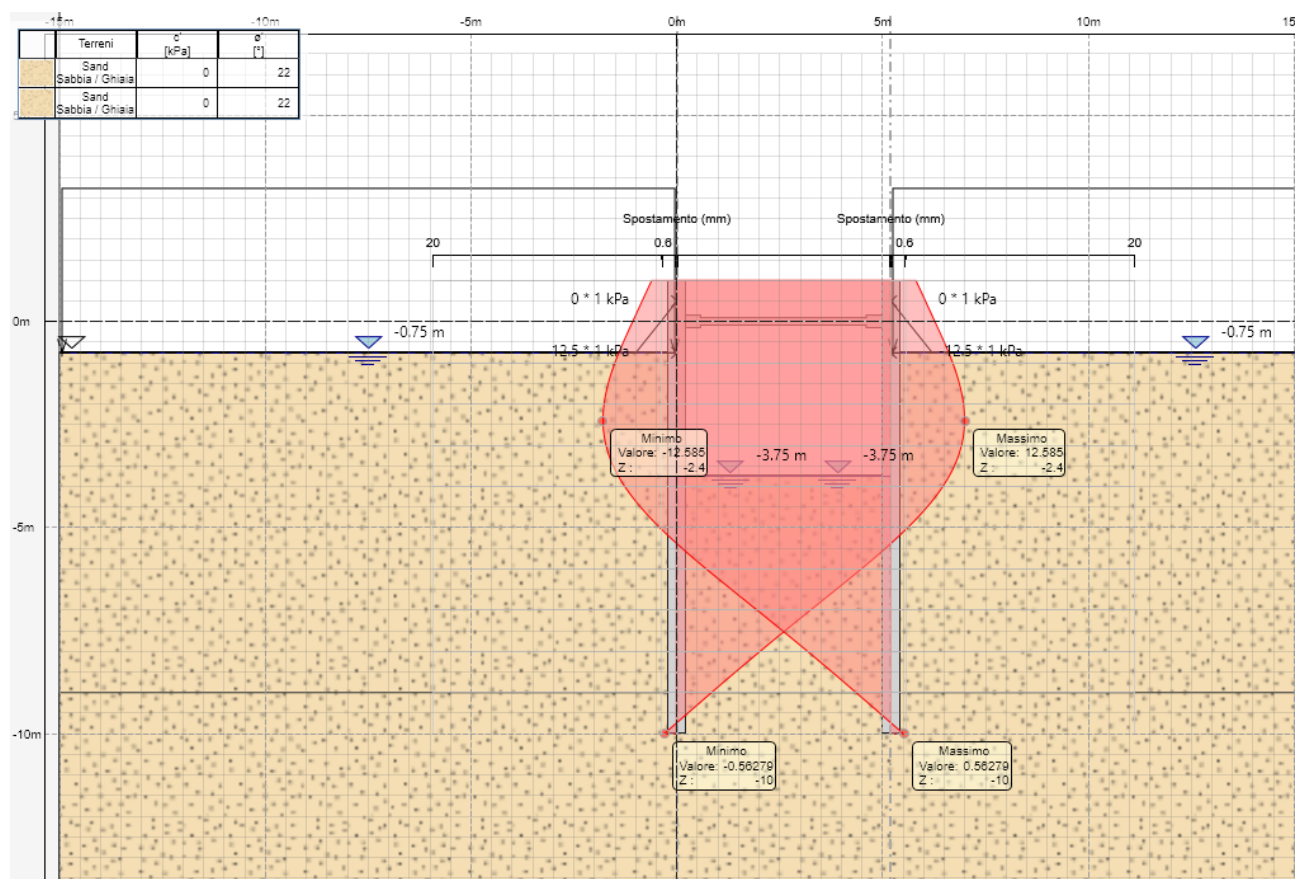
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$V_{Sd,max} = 54 \text{ kN/m}$$

Inviluppo spostamenti [mm] – Stato Limite di Esercizio (RARA)

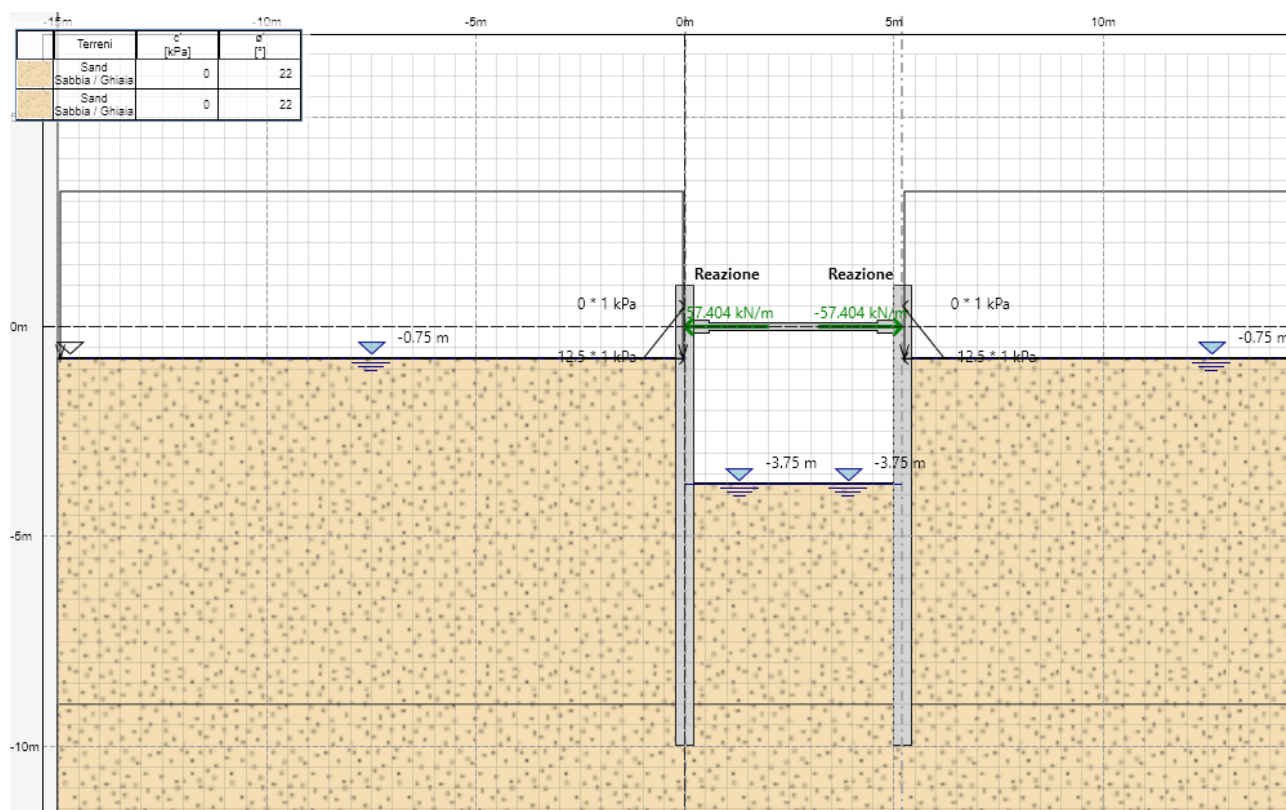
Si riporta lo spostamento nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$\delta_{\max} = 12.6 \text{ mm}$$

Reazioni vincolari sistema di contrasto [kN/m] – (A1+M1+R1)

Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$F_{Sd} = 58 \text{ kN/m}$$

4.5.4 Verifica del palancolato allo SLU

Le caratteristiche statiche di un metro lineare di paratia valgono:

Area: $A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$
Momento d'inerzia: $J = 59720 \text{ cm}^4/\text{m}$
Modulo di resistenza elastico: $W = 2600 \text{ cm}^3/\text{m}$.

Le sollecitazioni del modello di calcolo si riferiscono ad un metro lineare di sezione.

Momento flettente agente: $M_{Ed} = 137 \text{ kNm/m}$
Taglio agente: $V_{Ed} = 54 \text{ kN/m}$

Tensione sul profilo:

$$\sigma = M/W = 137 \times 10^6 \text{ Nmm} / (2600 \times 10^3 \text{ mm}^3) = 53 \text{ MPa}$$

$$\tau = V/A = 54 \times 10^3 \text{ N} / 18700 \text{ mm}^2 = 2.88 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tensione ideale: } \sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 53 \text{ Mpa} < f_{yk}/\gamma_s = 240/1.05 = 228 \text{ MPa}$$

La verifica è soddisfatta

4.5.5 Verifica delle travi di ripartizione allo SLU

Viene utilizzato un profilo HEB180 in acciaio S355.

Cautelativamente si considera una trave su due appoggi di luce 4.00m, con un carico uniformemente distribuito pari a 58 kN/m.

Risulta:

$$M_{Sd} = q \cdot L^2 / 8 = 58 \cdot 4^2 / 8 = 116 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = q \cdot L / 2 = 58 \cdot 4 / 2 = 116 \text{ kN}$$

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE			
SOLLECITAZIONI		Membratura principale	
M_y	116.00 kN*m		
M_z	0.00 kN*m		
T_y	116 kN		
T_z	0 kN		
N	0 kN	0	
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355
h	180 mm	f_{yk}	355 MPa
b	180 mm	f_{tk}	510 MPa
t_w	8.5 mm	γ_{M0}	1.05
t_f	14 mm	γ_{M1}	1.05
r_1	14 mm	γ_{M2}	1.25
ρ_y	7.66 cm	f_{yd}	338 MPa
ρ_z	4.57 cm	E	210000 MPa
J_y	3831 cm ⁴	n. fori=	0
J_z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm
W_{y_el}	426 cm ³	sp. foro=	0 mm
W_{y_pl}	481 cm ³		
W_{z_el}	151 cm ³		
W_{z_pl}	231 cm ³		
A	65.30 cm ²		
A_v	20.01 cm ²		
A_{net}	65.30 cm ²		
VERIFICHE A FLESSIONE DEVIATA		Calcolo: PLASTICO	
M_{cRdy}	162.76 kNm		$= w_y f_{yk} / \gamma_{M0}$
M_{cRdz}	78.10 kNm		$= w_z f_{yk} / \gamma_{M0}$
$M_y / M_{pRdy} + M_z / M_{pRdz}$	0.71 <= 1	OK	
VERIFICHE A TAGLIO			
$V_{c,Rd}$	390.59 kN	> V	OK $= A_v f_{yk} / ((3^{0.5}) \gamma_{M0})$
VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO			
verifica non necessaria			

4.5.6 Verifica del puntone allo SLU

Viene utilizzato un puntone HEB180 in acciaio S355, di lunghezza massima 5.20m e larghezza di influenza 4.00m. La reazione massima è pari a $q \cdot i = 58 \cdot 4 = 232 \text{ kN}$.

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE				
SOLLECITAZIONI		Membratura principale		
M _y	0.00 kN*m			
M _z	0.00 kN*m			
T _y	0 kN			
T _z	0 kN			
N	232 kN	ASTA COMPRESSA		
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE		
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355	
h	180 mm	f _{yk}	355 MPa	
b	180 mm	f _{tk}	510 MPa	
t _w	8.5 mm	Y _{M0}	1.05	
t _f	14 mm	Y _{M1}	1.05	
r ₁	14 mm	Y _{M2}	1.25	
ρ _y	7.66 cm	f _{yd}	338 MPa	
ρ _z	4.57 cm	E	210000 MPa	
J _y	3831 cm ⁴	n. fori=	0	
J _z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm	
W _{y_el}	426 cm ³	sp.foro=	0 mm	
W _{y_pl}	481 cm ³			
W _{z_el}	151 cm ³			
W _{z_pl}	231 cm ³			
A	65.30 cm ²			
A _v	20.01 cm ²			
A _{net}	65.30 cm ²			
L _{oy}	5200 mm			
L _{oz}	5200 mm			
Limitazione snellezza (§4.2.4.1.3.1 NTC18)		Verifica		
L _{oy} /r _z	114 < 200	OK		
L _{oz} /r _y	68 < 200	OK		
VERIFICA A COMPRESSIONE				
N _{c,Rd} =	2207.76 kN	>	N	OK = A f _{yk} /Y _{M0}

VERIFICHE DI INSTABILITA' A COMPRESSIONE				
STABILITA' DELLE MEMBRATURE - ASTE COMPRESSE				
§4.2.1.3.1 NTC18				
$N_{cr,y}$	2936.46 kN	$\pi^2 E J_y / l_{0z}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse y-y)	
$N_{cr,z}$	1044.74 kN	$\pi^2 E J_z / l_{0y}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse z-z)	
λ_y	0.89	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$		
λ_z	1.49			
α	0.49	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$		
Φ_y	1.06			
Φ_z	1.93	$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$		
χ_y	0.61			
χ_z	0.32	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$		
χ_{min}	0.32			
$N_{b,Rd}$	701.92 kN			
$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	0.33	<	1	Verifica OK

4.5.7 Verifica della rotazione rigida della palanica attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma alla soluzione garantisce che la verifica della rotazione della palanica attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta.

I grafici relativi a spostamenti e sollecitazioni riportati nei capitoli precedenti sono relativi all'ultimo step di analisi. Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di rotazione rigida.

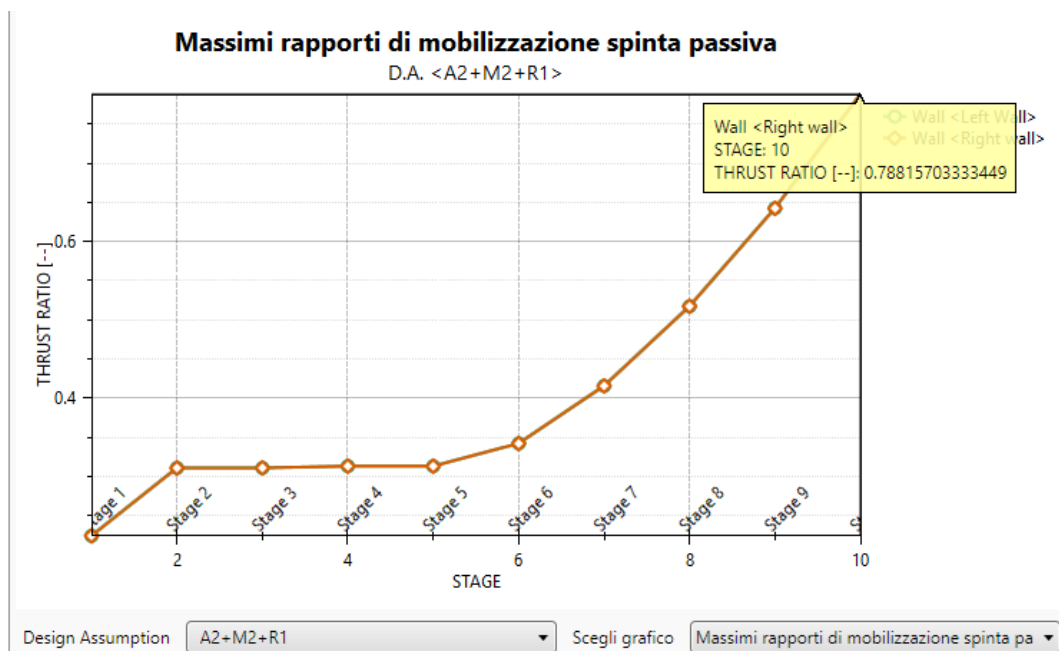
4.5.8 Verifica della resistenza del terreno

Durante le fasi di calcolo il programma determina il valore della massima spinta passiva necessaria per l'equilibrio del sistema e lo confronta con la massima spinta passiva mobilizzabile.

Il rapporto tra le due grandezze per la c.c. più gravosa viene riportato nel grafico seguente ed è sempre inferiore a **0.9** (si considera $\gamma_R=1.1$ e quindi deve risultare $\gamma_{R2}^{-1} = 1.1^{-1} = 0.9$).

Per lo stage finale risulta $0.79 < 0.9$

La verifica è quindi soddisfatta.



4.6 SEZIONE 3 (CONTROTERRA TIPO 2)

4.6.1 Descrizione modello di calcolo

Il calcolo dell'opera viene svolto mediante il software "Paratie Plus", che consente di:

- schematizzare la geometria dell'opera, introdurre i carichi e i vincoli opportuni;
- introdurre le caratteristiche del terreno, che viene schematizzato come suolo elastico alla Winkler.

La parete utilizzata nel modello di calcolo rappresenta la palancola, mentre i vincoli rappresentano le opere di contrasto. Le spinte dell'acqua (sia interna che esterna) vengono modellate come carichi triangolari sulla parete e carichi di superficie sul terreno.

Il modello di calcolo consente di creare delle fasi, per ciascuna delle quali vengono definiti e attivati carichi e vincoli esterni. In particolare viene creata una fase per ogni abbassamento pari ad un metro del livello dell'acqua lato interno (definendo quindi una diversa spinta dell'acqua sulla paratia lato interno ed un diverso carico verticale dell'acqua stessa).

Stratigrafia

Vengono utilizzati i seguenti parametri:

$$\gamma = 20 \text{ kN/mq}$$

$$\phi = 22^\circ$$

Combinazioni di carico

I carichi agenti sulla paratia vengono combinati generando tutti gli Approcci normativi previsti dal DM 17/01/18 per le paratie.

Si specifica che tale opera è temporanea. Non verranno quindi considerate le azioni sismiche.

Vincolo

Il vincolo in testa rappresenta l'elemento di contrasto costituito da una serie di puntoni in acciaio, con sezione HEA180, lunghezza $L=5.20\text{m}$, posti ad interasse massimo 4.00metri tra loro.

Al vincolo in testa viene definita la seguente rigidezza:

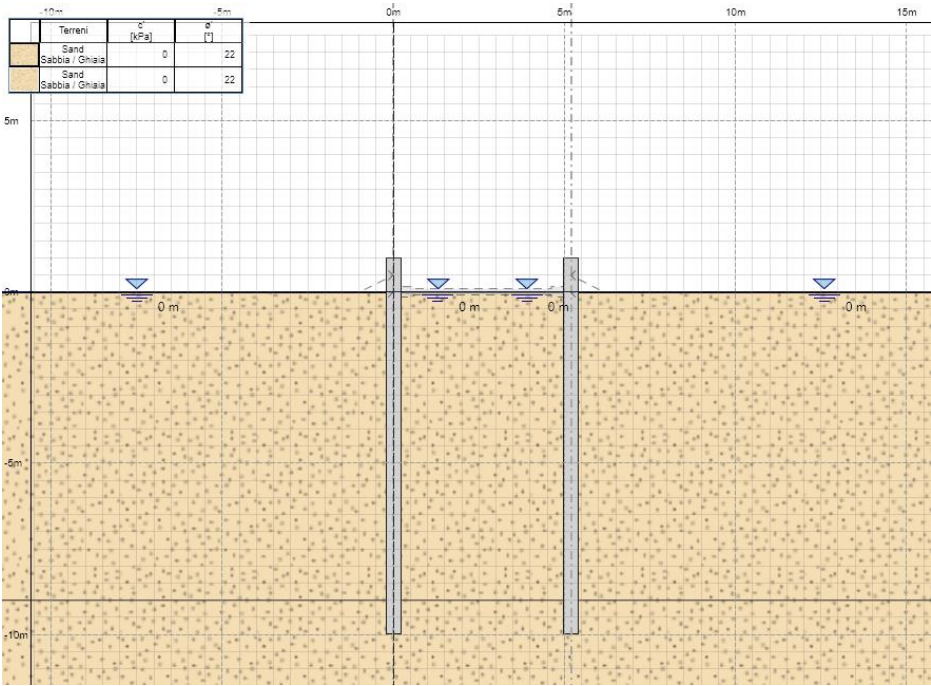
$$k_{\text{puntone}} = (EA/L) = (210000 \cdot 6530) / 5200 = 263744 \text{ N/mm} = 263711 \text{ kN/m}$$

$$k_{\text{vincolo}} = k_{\text{puntone}} / \text{interasse} = 263711 / 4\text{m} = 65927 \text{ kN/m/m}$$

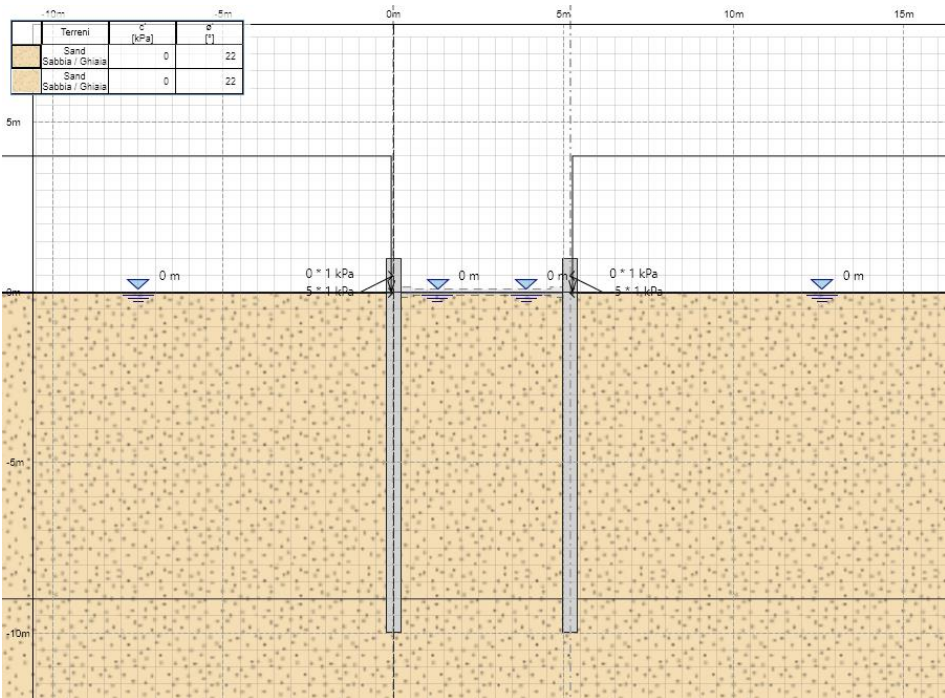
4.6.2 Rappresentazione delle fasi

Nelle immagini seguenti gli elementi tratteggiati (vincoli e carichi) non sono attivi nelle rispettive fasi.

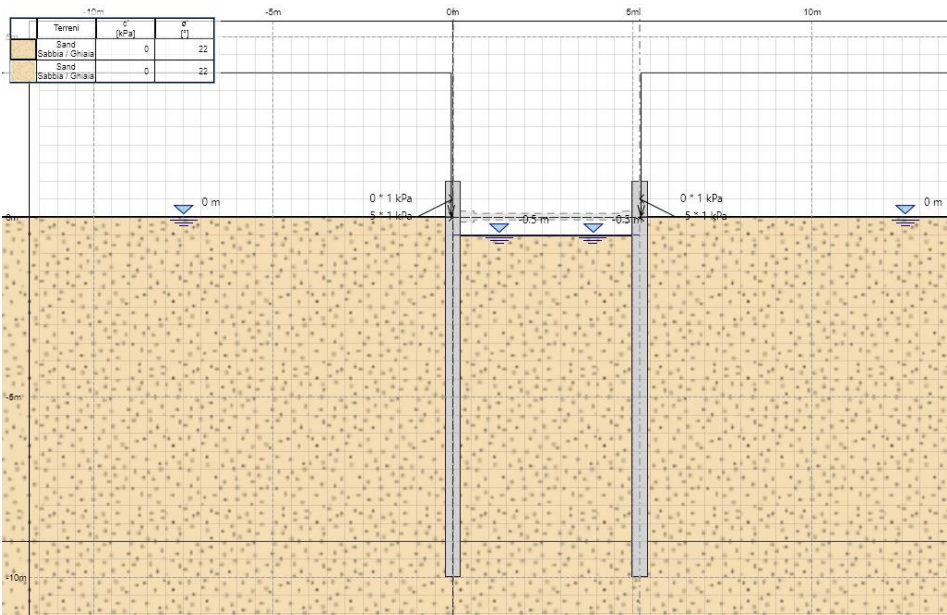
Stage 1



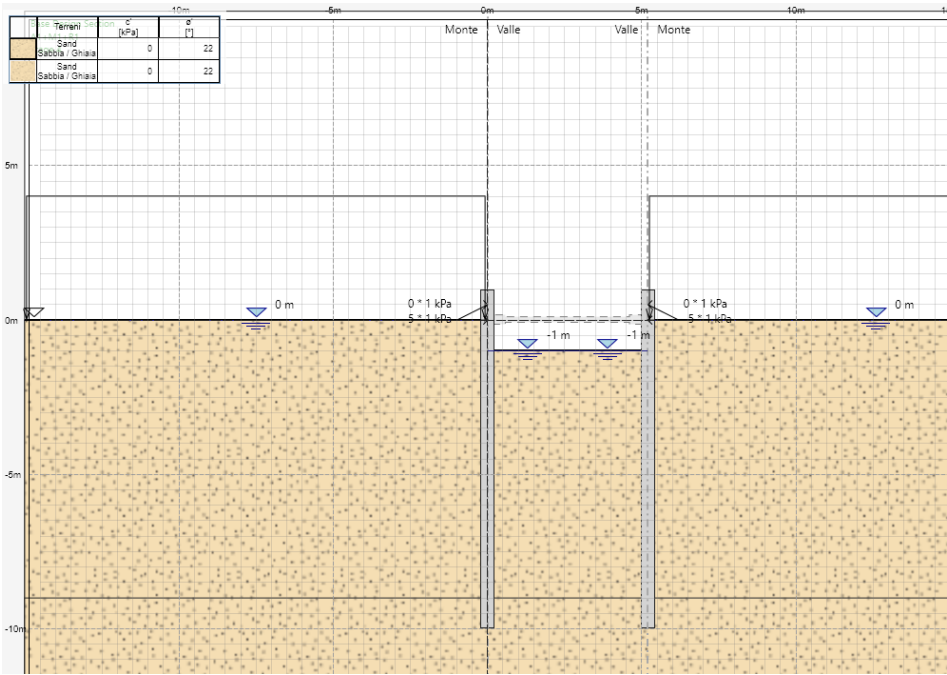
Stage 2



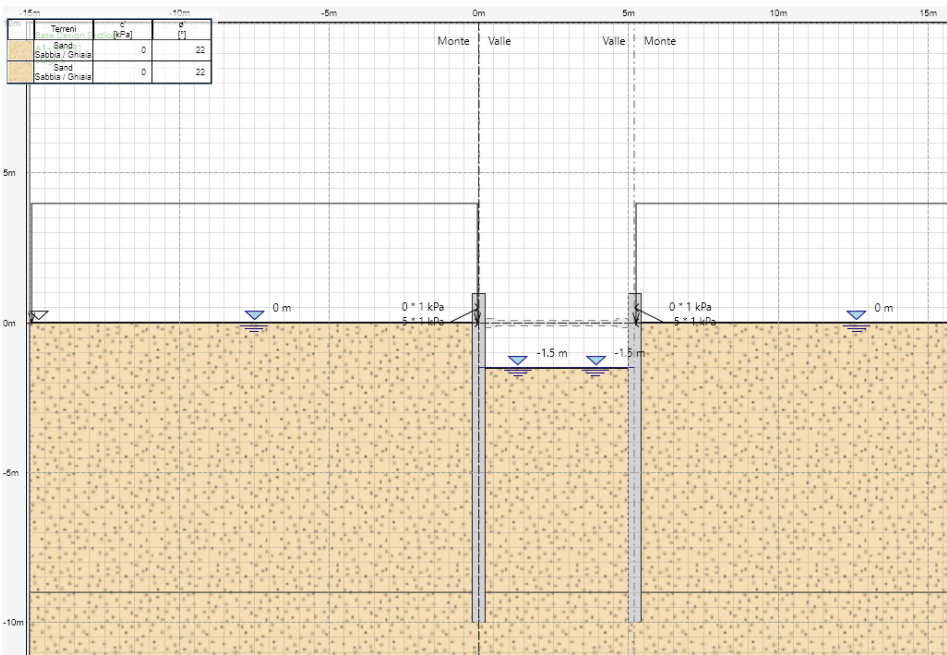
Stage 3



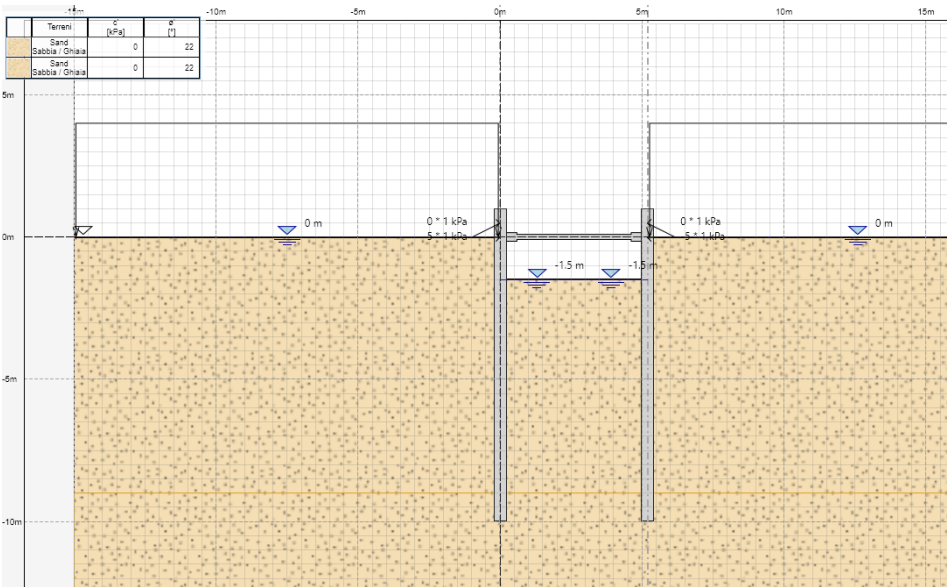
Stage 4



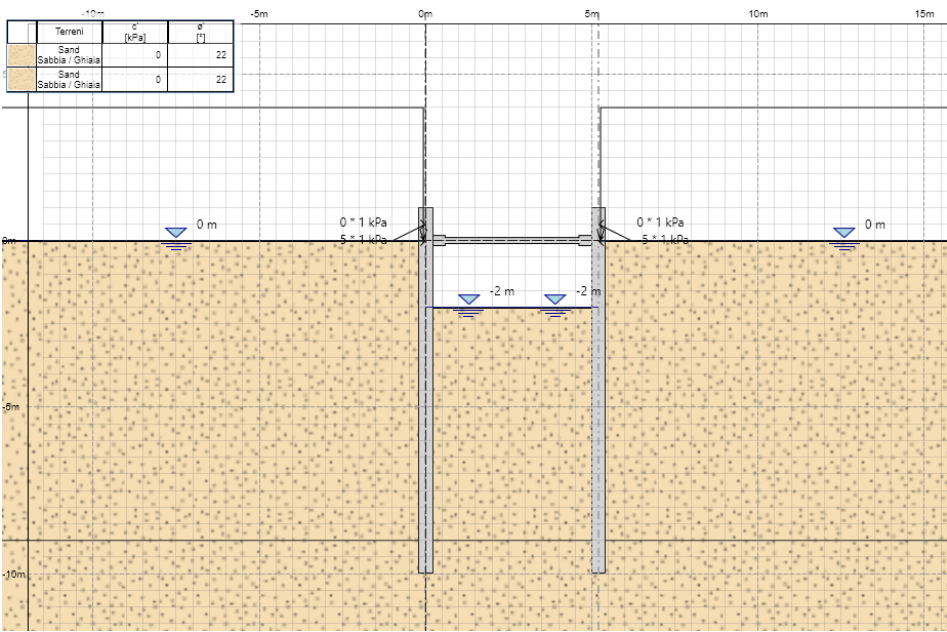
Stage 5



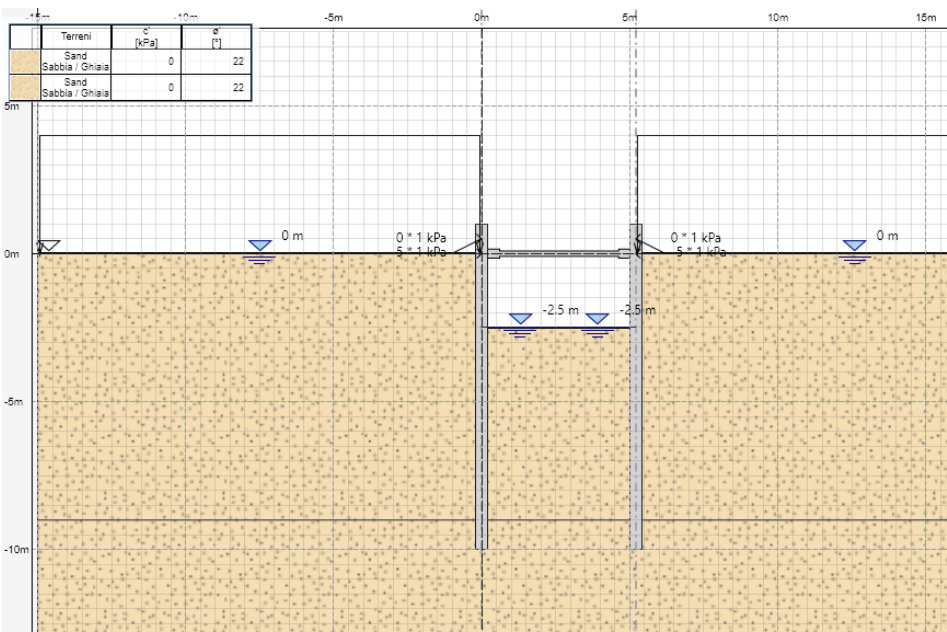
Stage 6



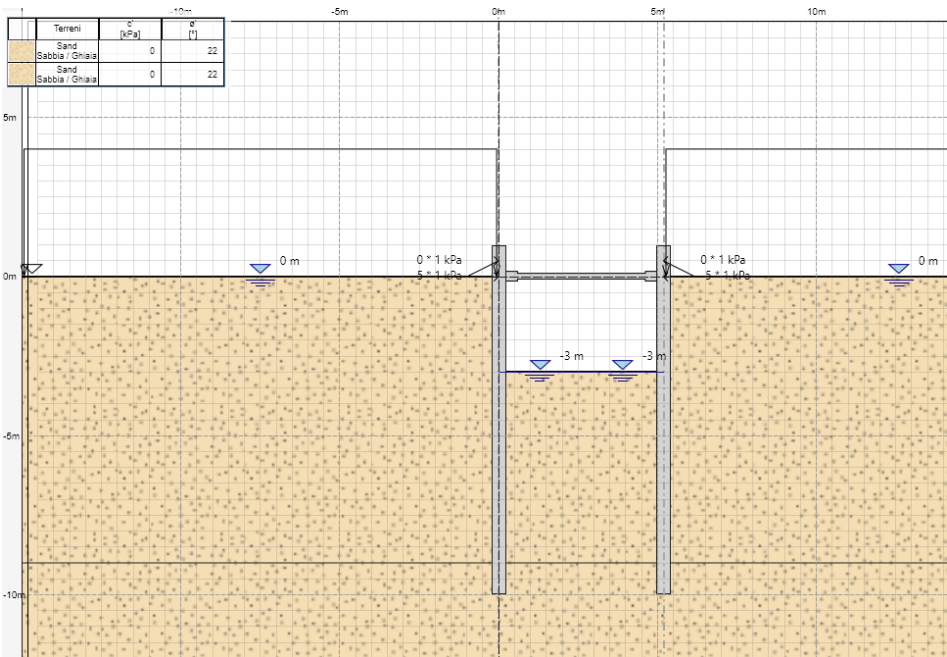
Stage 7



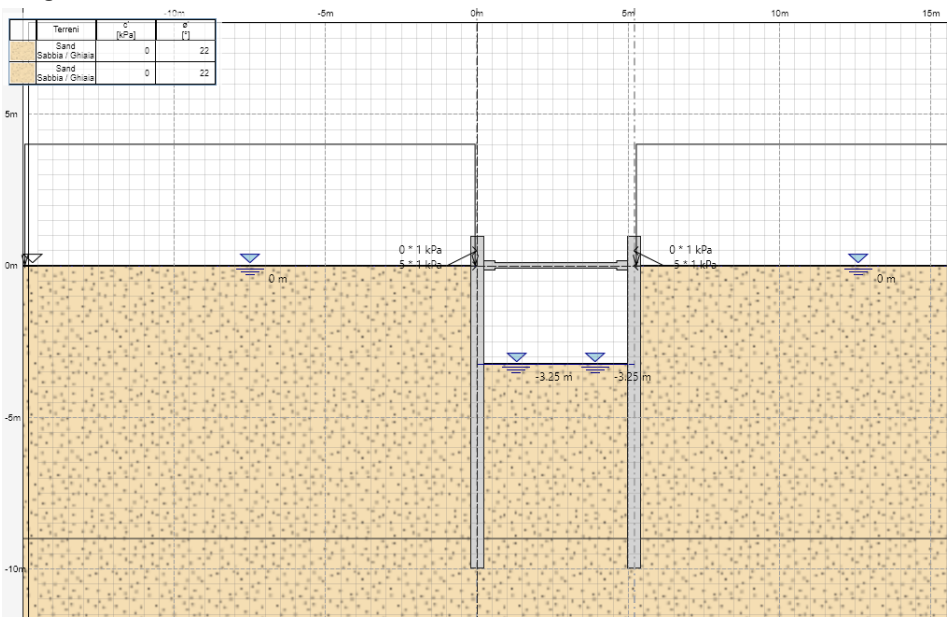
Stage 8



Stage 9



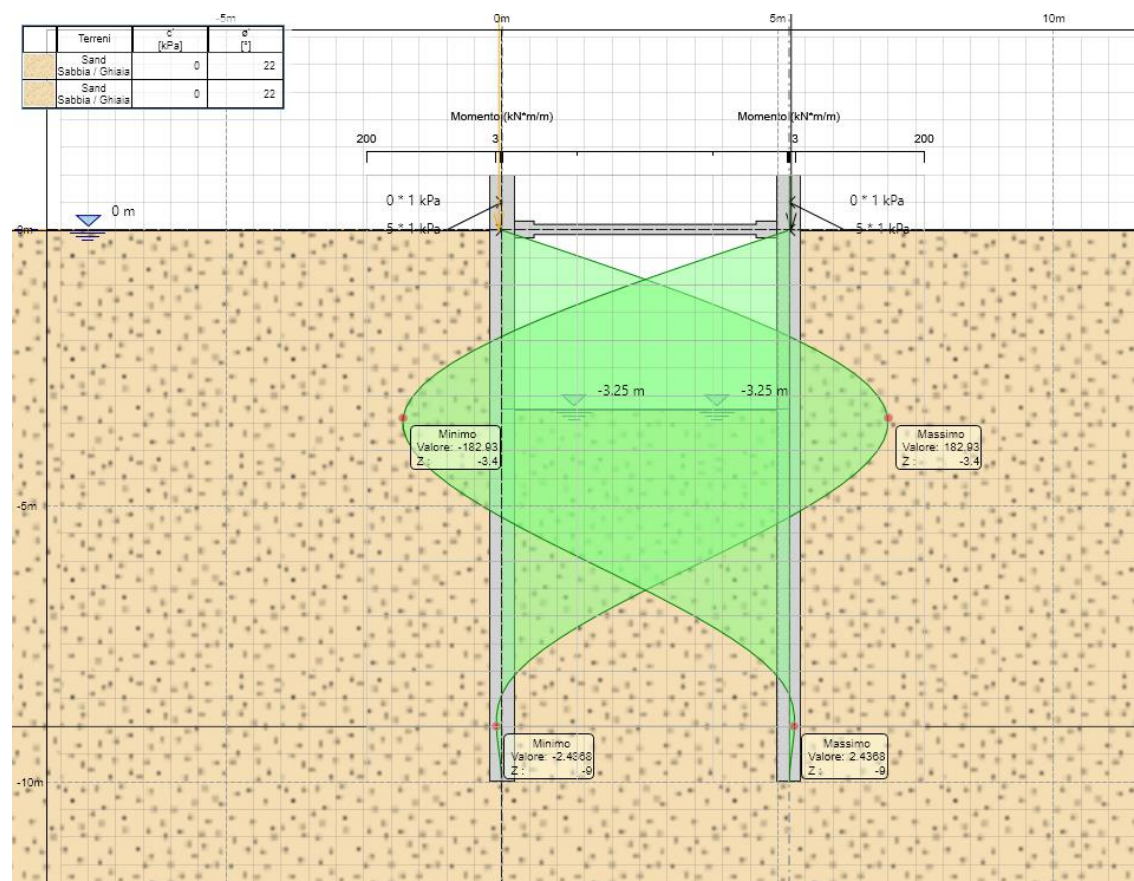
Stage 10



4.6.3 Sollecitazioni e spostamenti

Momento flettente [kNm/m] – (A1+M1+R1)

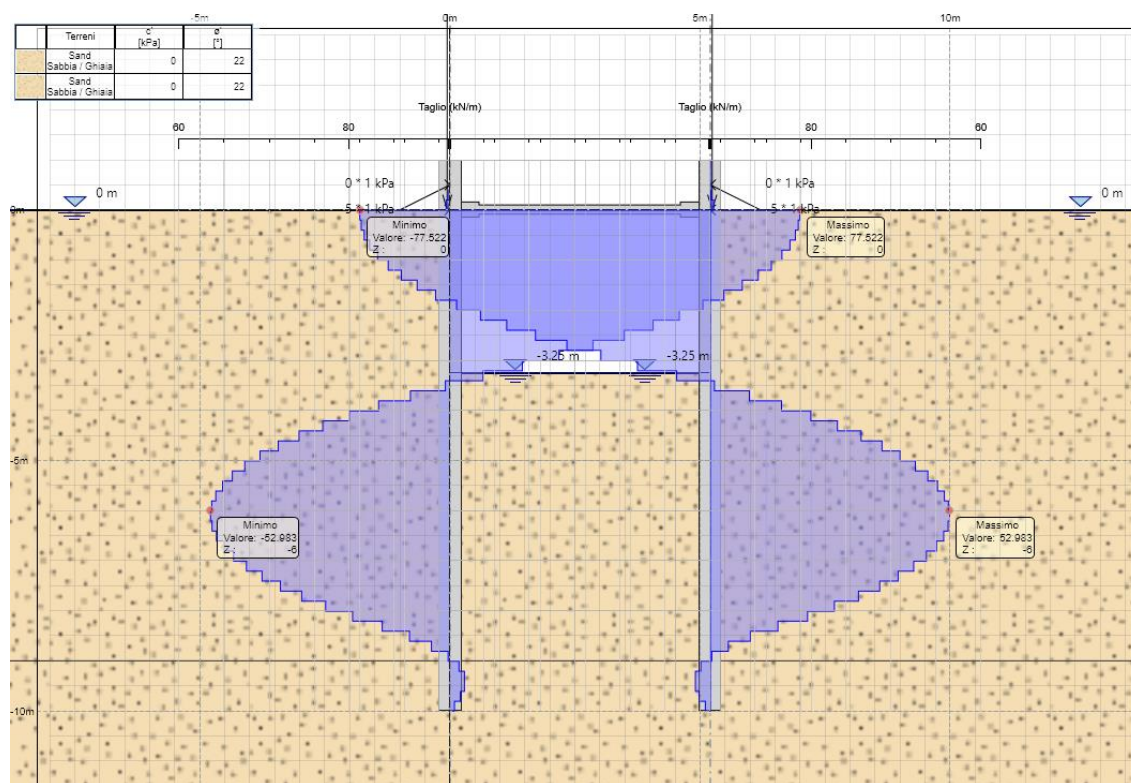
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$M_{Sd,max} = 183 \text{ kNm/m}$$

Taglio [kN/m] – (A1+M1+R1)

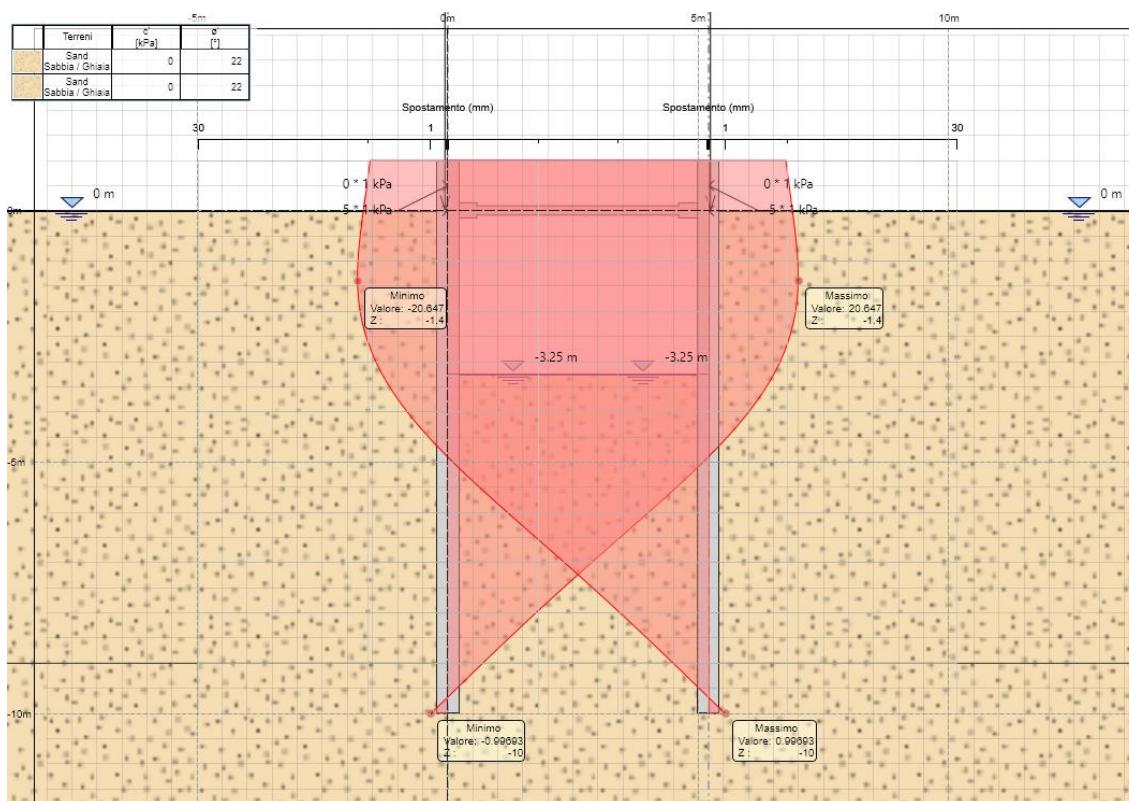
Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$V_{Sd,max} = 78 \text{ kN/m}$$

Inviluppo spostamenti [mm] – Stato Limite di Esercizio (RARA)

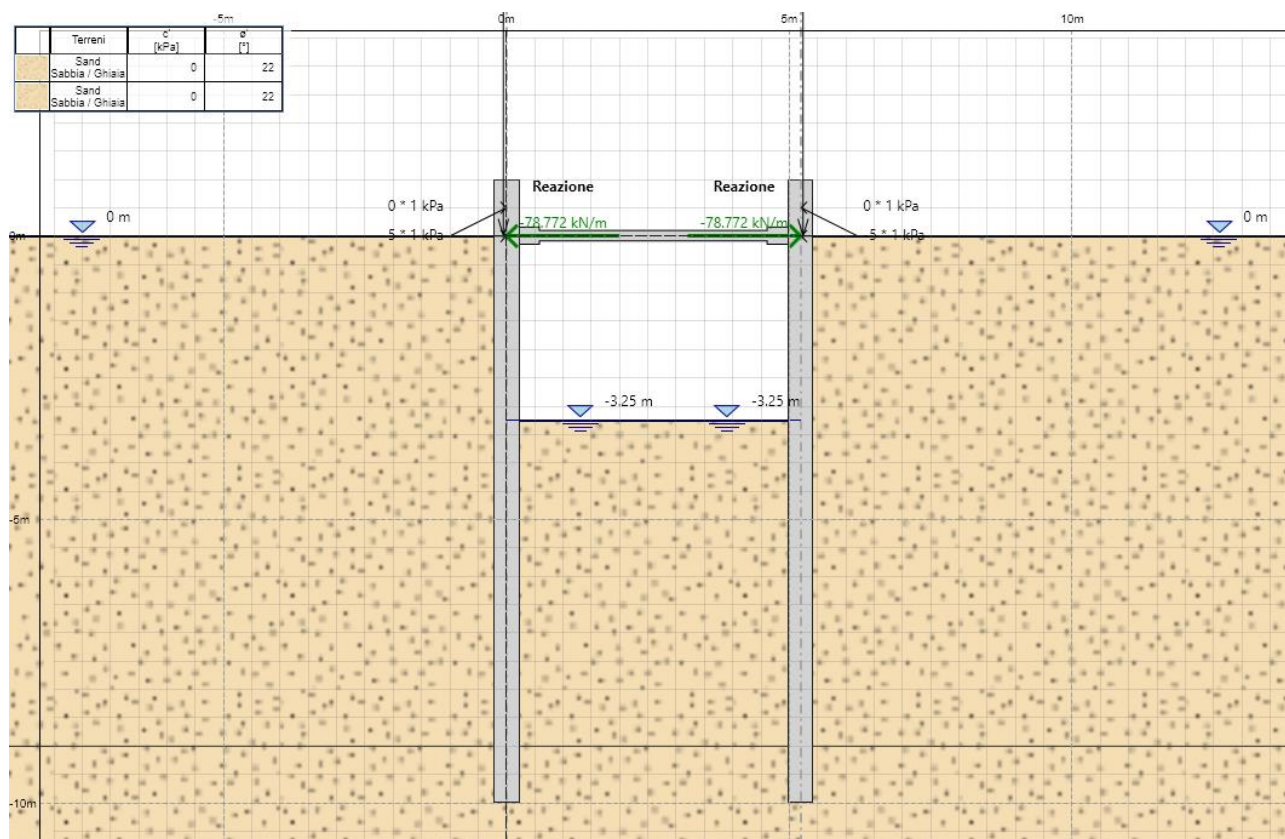
Si riporta lo spostamento nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$\delta_{\max} = 20.6 \text{ mm}$$

Reazioni vincolari sistema di contrasto [kN/m] – (A1+M1+R1)

Si riporta la sollecitazione nell'ultimo stage (fase più gravosa).



$$F_{Sd} = 79 \text{ kN/m}$$

4.6.4 Verifica del palancolato allo SLU

Le caratteristiche statiche di un metro lineare di paratia valgono:

Area: $A = 187 \text{ cm}^2/\text{m}$
Momento d'inerzia: $J = 59720 \text{ cm}^4/\text{m}$
Modulo di resistenza elastico: $W = 2600 \text{ cm}^3/\text{m}$.

Le sollecitazioni del modello di calcolo si riferiscono ad un metro lineare di sezione.

Momento flettente agente: $M_{Ed} = 183 \text{ kNm/m}$
Taglio agente: $V_{Ed} = 78 \text{ kN/m}$

Tensione sul profilo:

$$\sigma = M/W = 183 \times 10^6 \text{ Nmm} / (2600 \times 10^3 \text{ mm}^3) = 71 \text{ MPa}$$

$$\tau = V/A = 78 \times 10^3 \text{ N} / 18700 \text{ mm}^2 = 4.17 \text{ Mpa}$$

$$\text{Tensione ideale: } \sigma_{id} = (\sigma^2 + 3\tau^2)^{0.5} = 72 \text{ Mpa} < f_{yk}/\gamma_s = 240/1.05 = 228 \text{ MPa}$$

La verifica è soddisfatta

4.6.5 Verifica delle travi di ripartizione allo SLU

Viene utilizzato un profilo HEB180 in acciaio S355.

Cautelativamente si considera una trave su due appoggi di luce 4.00m, con un carico uniformemente distribuito pari a 79 kN/m.

Risulta:

$$M_{Sd} = q \cdot L^2 / 8 = 79 \cdot 4^2 / 8 = 158 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = q \cdot L / 2 = 79 \cdot 4 / 2 = 158 \text{ kN}$$

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE			
SOLLECITAZIONI		Membratura principale	
M_y	158.00 kN*m		
M_z	0.00 kN*m		
T_y	158 kN		
T_z	0 kN		
N	0 kN	0	
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE	
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355
h	180 mm	f_{yk}	355 MPa
b	180 mm	f_{tk}	510 MPa
t_w	8.5 mm	γ_{M0}	1.05
t_f	14 mm	γ_{M1}	1.05
r_1	14 mm	γ_{M2}	1.25
ρ_y	7.66 cm	f_{yd}	338 MPa
ρ_z	4.57 cm	E	210000 MPa
J_y	3831 cm ⁴	n. fori=	0
J_z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm
W_{y_el}	426 cm ³	sp. foro=	0 mm
W_{y_pl}	481 cm ³		
W_{z_el}	151 cm ³		
W_{z_pl}	231 cm ³		
A	65.30 cm ²		
A_v	20.01 cm ²		
A_{net}	65.30 cm ²		
VERIFICHE A FLESSIONE DEVIATA		Calcolo: PLASTICO	
M_{cRdy}	162.76 kNm		$= w_y f_{yk} / \gamma_{M0}$
M_{cRdz}	78.10 kNm		$= w_z f_{yk} / \gamma_{M0}$
$M_y / M_{pRdy} + M_z / M_{pRdz}$	0.97 <= 1	OK	
VERIFICHE A TAGLIO			
$V_{c,Rd}$	390.59 kN	> V	OK $= A_v f_{yk} / ((3^{0.5}) \gamma_{M0})$
VERIFICA A FLESSIONE E TAGLIO			
verifica non necessaria			

4.6.6 Verifica del puntone allo SLU

Viene utilizzato un puntone HEB180 in acciaio S355, di lunghezza massima 5.20m e larghezza di influenza 4.00m. La reazione massima è pari a $q^*i=79*4=316\text{kN}$.

MEMBRATURE INFLESSE E COMPRESSE				
SOLLECITAZIONI		Membratura principale		
M _y	0.00 kN*m			
M _z	0.00 kN*m			
T _y	0 kN			
T _z	0 kN			
N	316 kN	ASTA COMPRESSA		
CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE		CARATTERISTICHE MATERIALE		
Tipo:	LH HE 180 B	Acciaio	S355	
h	180 mm	f _{yk}	355 MPa	
b	180 mm	f _{tk}	510 MPa	
tw	8.5 mm	Y _{M0}	1.05	
tf	14 mm	Y _{M1}	1.05	
r1	14 mm	Y _{M2}	1.25	
ρ _y	7.66 cm	f _{yd}	338 MPa	
ρ _z	4.57 cm	E	210000 MPa	
J _y	3831 cm ⁴	n. fori=	0	
J _z	1363 cm ⁴	d. fori=	0 mm	
W _{y_el}	426 cm ³	sp.foro=	0 mm	
W _{y_pl}	481 cm ³			
W _{z_el}	151 cm ³			
W _{z_pl}	231 cm ³			
A	65.30 cm ²			
A _v	20.01 cm ²			
A _{net}	65.30 cm ²			
L _{oy}	5200 mm			
L _{oz}	5200 mm			
Limitazione snellezza (§4.2.4.1.3.1 NTC18)		Verifica		
L _{oy} /r _z	114 < 200	OK		
L _{oz} /r _y	68 < 200	OK		
VERIFICA A COMPRESSIONE				
N _{c,Rd} =	2207.76 kN	>	N	OK = A f _{yk} /Y _{M0}

VERIFICHE DI INSTABILITA' A COMPRESSIONE				
STABILITA' DELLE MEMBRATURE - ASTE COMPRESSE				
§4.2.1.3.1 NTC18				
N _{cr,y}	2936.46 kN	$\pi^2 E J_y / l_{0z}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse y-y)	
N _{cr,z}	1044.74 kN	$\pi^2 E J_z / l_{0y}^2$	(Instabilità con flessione intorno asse z-z)	
λ _y	0.89	$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_{yk}}{\gamma_{M1}}$		
λ _z	1.49			
α	0.49	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0$		
Φ _y	1.06			
Φ _z	1.93	$\Phi = 0.5 [1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2]$		
χ _y	0.61			
χ _z	0.32	$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_{yk}}{N_{cr}}}$		
χ _{min}	0.32			
N _{b,Rd}	701.92 kN			
N _{Ed} /N _{b,Rd}	0.45	<	1	Verifica OK

4.6.7 Verifica della rotazione rigida della palatia attorno ad un punto (GEO)

La convergenza del programma alla soluzione garantisce che la verifica della rotazione della palancola attorno ad un generico punto (atto di moto rigido) è soddisfatta.

I grafici relativi a spostamenti e sollecitazioni riportati nei capitoli precedenti sono relativi all'ultimo step di analisi. Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di rotazione rigida.

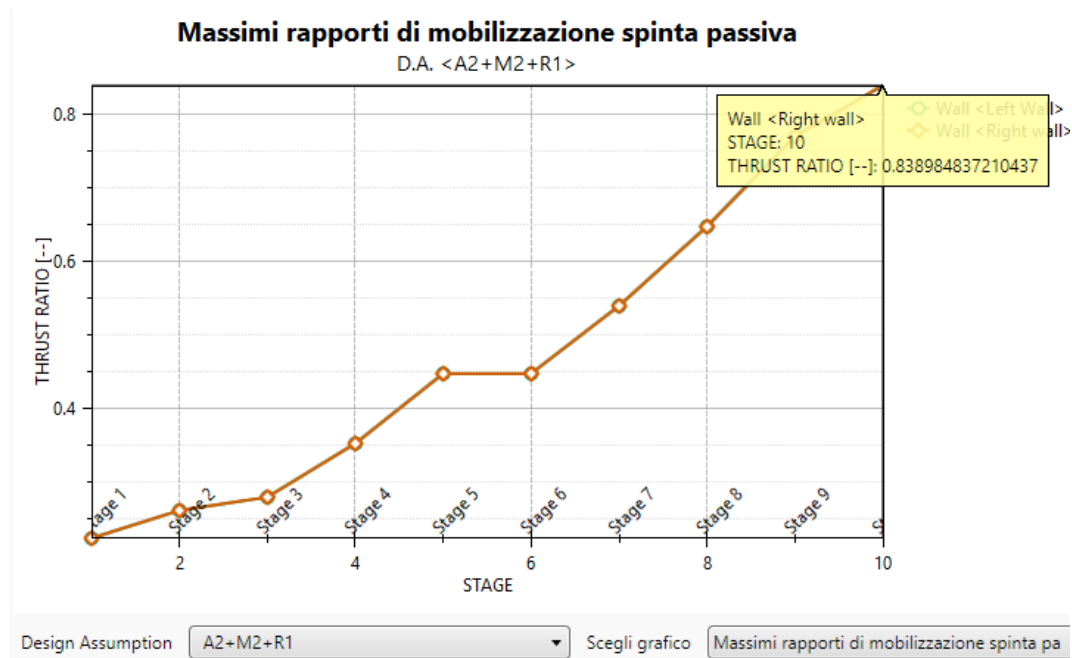
4.6.8 Verifica della resistenza del terreno

Durante le fasi di calcolo il programma determina il valore della massima spinta passiva necessaria per l'equilibrio del sistema e lo confronta con la massima spinta passiva mobilizzabile.

Il rapporto tra le due grandezze per la c.c. più gravosa viene riportato nel grafico seguente ed è sempre inferiore a **0.9** (si considera $\gamma_R=1.1$ e quindi deve risultare $\gamma_{R2}^{-1} = 1.1^{-1} = 0.9$).

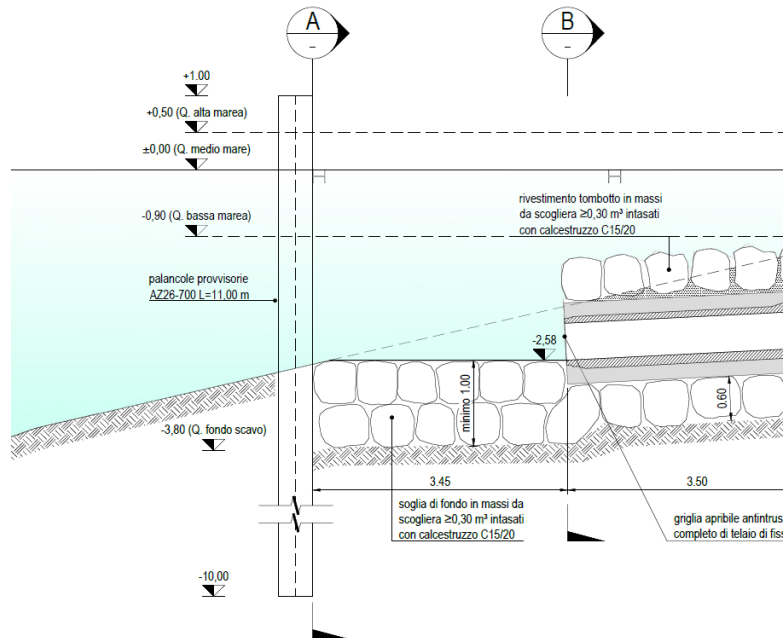
Per lo stage finale risulta $0.84 < 0.9$

La verifica è quindi soddisfatta.



4.7 VERIFICA AL SIFONAMENTO

Si riporta la verifica al sifonamento nella condizione peggiore alta marea (+0.50m) e massimo scavo (-3.80m)



Tensione stabilizzante

$$\sigma_{stab} = \gamma_{sat} \cdot D = 19 \cdot (10 - 3.8) = 117.8 \text{ [kPa]}$$

Pressione neutra instabilizzante

$$u_{idrodinamica} = \gamma_w \cdot (H_w + D) \cdot \left(\frac{2 \cdot D}{H_w + 2 \cdot D} \right) = 10 \cdot (4.3 + 6.2) \cdot \left(\frac{2 \cdot 6.2}{4.3 + 2 \cdot 6.2} \right) = 78 \text{ [kPa]}$$

La verifica prevede che $1.3 \cdot u_{idrodinamica} < 0.9 \cdot \sigma_{stab}$

$$101.4 \text{ [kPa]} = 78 \cdot 1.3 < 117.8 \cdot 0.9 = 106.02 \text{ [kPa]} \quad \text{VERIFICATO}$$