

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

### PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI  
INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE  
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA  
NAZIONALE

### OPERE IDRAULICHE

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

SCALA:

-

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

I A 7 L 0 0 D 1 0 C L I N 0 0 0 9 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli 	Maggio 2020	L. Giannini 	Maggio 2020	T. Paolletti 	Maggio 2020	L. Berardi Maggio 2020 

File: IA7L00D10CLIN0009001A.doc

n. Elab.:

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	2 di 45

## INDICE

1. PREMESSA .....	4
2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1. DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO .....	7
2.2. NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	8
2.3. SOFTWARE .....	8
3. MATERIALI .....	9
4. SISMICITÀ.....	10
5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	11
6. MODELLO GEOTECNICO E IPOTESI DI CALCOLO .....	14
7. APPROCCI PROGETTUALI PER LE VERIFICHE DELLE OPERE .....	15
7.1. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) .....	15
7.1.1. Azioni .....	16
7.1.2. Approccio progettuale per le verifiche delle opere di sostegno del tipo paratie in condizioni statiche ..	17
7.2. APPROCCIO PROGETTUALE PER LE VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE IDRAULICI - SIFONAMENTO .....	18
7.3. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	18
8. CARICHI E AZIONI.....	19
8.1. CARICO VARIABILE (Q1).....	19
8.2. SPINTA DEL TERRENO.....	19
8.3. COMBINAZIONE DELLE AZIONI .....	19
9. DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI UTILIZZATI NELLE ANALISI .....	20
9.1. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS PER L'ANALISI DELL'INTERAZIONE PARATIA-TERRENO	20

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere  
provvisoriale delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	3 di 45

9.1.1. Coefficienti di spinta.....	22
9.1.2. Verifiche delle palancole.....	22
9.2. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS – MODULO VSP PER L'ANALISI DI STABILITÀ .....	24
10. IN11 E IN12 - ANALISI DI STABILITÀ SCAVO A CIELO APERTO.....	26
11. VASCA DI PRIMA PIOGGIA IN06 - ANALISI DI STABILITÀ SCAVO A CIELO.....	31
12. VASCA DI PRIMA PIOGGIA IN07 - SCAVO CON PALANCOLE.....	36
12.1. MODELLO DI CALCOLO E STRATIGRAFIA.....	36
12.2. SINTESI DEI RISULTATI .....	39
12.2.1. Sintesi dei risultati allo SLE .....	39
12.2.2. Sintesi dei risultati allo SLU.....	39
12.1. VERIFICHE ELEMENTI STRUTTURALI .....	42
12.2. SIFONAMENTO .....	45

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	4 di 45

## 1. PREMESSA

Nelle immediate vicinanze della stazione di Brindisi è presente una complessa realtà industriale principalmente legata al Porto e al polo petrolchimico. Il collegamento tra l'aera portuale e la stazione di Brindisi, ad oggi, è fortemente penalizzato da una moltitudine di intersezioni a raso all'interno di un'area fortemente urbanizzata.

Obiettivo della presente progettazione consiste nell'incentivare il traffico merci su ferro integrando il sistema portuale con il sistema ferroviario riducendo in questo modo le interferenze tra le attività di terminalizzazione ed il traffico urbano. Tale intervento presenta elevati vantaggi in termini di sicurezza in quanto, oltre ad allontanare il traffico merci da un tessuto urbano costituito da numerosi passaggi a livello, concentra le operazioni di manovra dei treni merci all'interno della nuova "stazione elementare".



Scopo della presente progettazione è la realizzazione del completamento dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale.

Il progetto si compone di due lotti:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  5 di 45

Lotto 1: opere a carico del Comune di Brindisi (a cura del Comune e in corso di realizzazione):


- Binario di corretto tracciato (Binario III) e precedenza in sinistra (Binario IV) della suddetta nuova Stazione Elementare;
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la Dorsale del Consorzio ASI di Brindisi (Porto di Brindisi) e la nuova Stazione Elementare per l'arrivo/partenza di treni merci a modulo 750m (circa 1,78 Km)

Lotto 2: opere a carico di RFI, oggetto della presente progettazione:

- Binari I e II della nuova stazione per l'arrivo/partenza treni di merci a modulo 750m
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la suddetta nuova Stazione Elementare e la linea Bari – Lecce (OO.CC. + armamento)
- Posto di comunicazione e bivio di collegamento della nuova tratta con la Linea Adriatica (al km 764+230 circa della linea Bari – Lecce)
- Impianti di trazione elettrica e apparati tecnologici della nuova stazione merci, della tratta di collegamento tra questa e la Linea Adriatica e del bivio sulla Linea Adriatica per l'allaccio della nuova linea.


Pertanto, il progetto risponde ai seguenti obiettivi:

- Realizzazione di una stazione a modulo 750 m, coerentemente con gli standard europei di trasporto merci;
- Velocizzazione delle attività di manovra e terminalizzazione, per accesso diretto dei treni provenienti da nord in una stazione dedicata a traffico merci, con itinerari di arrivo a 60 km/h;
- Integrazione del sistema ferroviario con quello portuale;
- Riduzione delle interferenze tra le attività di terminalizzazione su ferro e il traffico urbano, con vantaggi soprattutto in termini di sicurezza;
- Incentivo al traffico merci su ferro;
- Separazione del traffico merci, in parte altamente pericolose, dal traffico viaggiatori in stazione di Brindisi centrale.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>   <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b>  <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA7L</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0009001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>6 di 45</p>

La presente relazione riporta i risultati delle verifiche di stabilità degli scavi provvisori e dei calcoli di dimensionamento e verifica delle opere provvisoriale previste per la realizzazione delle opere idrauliche, quali tombini, collettori e vasche di prima pioggia.

Le analisi svolte sono riferite a specifiche configurazioni di scavo e di opere provvisoriale (sezioni di calcolo tipo), individuate come rappresentative delle condizioni maggiormente critiche, in funzione di: altezza di scavo, assetto stratigrafico, caratteristiche meccaniche dei terreni, quota di falda, carichi accidentali da mezzi di cantiere/traffico veicolare presenti in adiacenza.


 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b>  <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA7L</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0009001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>7 di 45</p>

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

### 2.1. **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti utilizzati per la stesura della presente relazione:

- [1] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Relazione Geotecnica Generale (Doc. IA7L00D10GEGE0006001)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico di linea (Doc. IA7L00D10F7GE0006002)
- [3] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico stazione (Doc. IA7L00D10F7GE0006001)
- [4] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Impianto di trattamento acque di prima pioggia IN06 - NV02, carpenteria e dettagli costruttivi (Doc. IA7L00D10PZID0002003)
- [5] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Impianto di trattamento acque di prima pioggia IN07 - NV05, carpenteria e dettagli costruttivi (Doc. IA7L00D10PZID0002004)
- [6] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – IN11 - Recapito al Canale di Levante - Sezioni trasversali, Sezione tipo e Dettagli (Doc. IA7L00D10PZIN1100002)
- [7] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – IN12 - Canale in ingresso alla vasca di laminazione - Sezioni trasversali, Sezione tipo e Dettagli (Doc. IA7L00D10PZIN1200002)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  8 di 45

## 2.2. NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [8] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [9] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"
- [10] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - "MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI".
- [11] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – "Opere in terra e scavi"– RFI.
- [12] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali

## 2.3. SOFTWARE

- [13] Paratie Plus – modulo VSP – Harpaceas (<http://harpaceasit/paratie-plus/>)



**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	9 di 45

### 3. MATERIALI

Il progetto prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate a seguire.

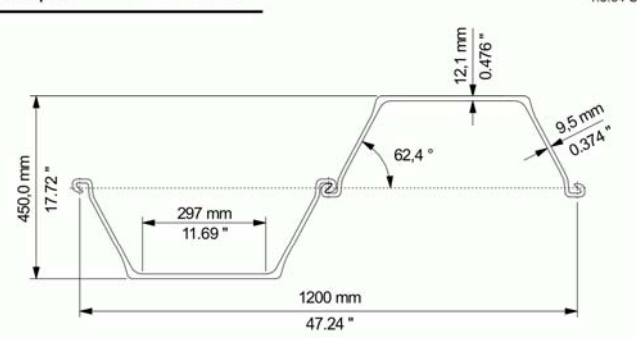
- Acciaio per palancole


Tipo S275:  $f_{yk} \geq 275$  MPa.

- Profilato palancole

Sono previste palancole del tipo PU22 di lunghezza 9.0 m con le caratteristiche meccaniche riportate nella tabella seguente.

Tabella 3.1: Caratteristiche meccaniche delle palancole PU22.

Palplanche Sheet pile		<b>PU 22</b>		1.3.04 SP			
							
Echelle :	Scale :	1:10	* un côté , intérieur des joints exclu * one side , excluding inside of interlocks				
	Section d'acier Sectional Area	Masse Mass	Moment d'inertie Moment of Inertia	Module de résistance Section Modulus	Rayon de giration Radius of Gyration	Surface * à traiter Coating * Area	
Palpl. simple Single pile	109.7 cm <sup>2</sup>	86.1 kg /m	8740 cm <sup>4</sup>	546 cm <sup>3</sup>	8.93 cm	0.90 m <sup>2</sup> /m	
Palpl. double Double pile	219.5 cm <sup>2</sup>	172.3 kg /m	59360 cm <sup>4</sup>	2640 cm <sup>3</sup>	16.45 cm	1.79 m <sup>2</sup> /m	
Palpl. triple Triple pile	329.2 cm <sup>2</sup>	258.4 kg /m	82060 cm <sup>4</sup>	3025 cm <sup>3</sup>	15.79 cm	2.68 m <sup>2</sup> /m	
Paroi Wall	182.9 cm <sup>2</sup> /m	143.6 kg /m <sup>2</sup>	49460 cm <sup>4</sup> /m	2200 cm <sup>3</sup> /m	16.45 cm	1.49 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	
Palpl. simple Single pile	17.00 in <sup>2</sup>	57.86 lb /ft	210.0 in <sup>4</sup>	33.3 in <sup>3</sup>	3.52 in	2.95 ft <sup>2</sup> /ft	
Palpl. double Double pile	34.02 in <sup>2</sup>	115.78 lb /ft	1426.1 in <sup>4</sup>	161.1 in <sup>3</sup>	6.48 in	5.87 ft <sup>2</sup> /ft	
Palpl. triple Triple pile	51.03 in <sup>2</sup>	173.64 lb /ft	1971.5 in <sup>4</sup>	184.6 in <sup>3</sup>	6.22 in	8.79 ft <sup>2</sup> /ft	
Paroi Wall	8.64 in <sup>2</sup> /ft	29.41 lb /ft <sup>2</sup>	362.2 in <sup>4</sup> /ft	40.9 in <sup>3</sup> /ft	6.48 in	1.49 ft <sup>2</sup> /ft <sup>2</sup>	

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  10 di 45

#### 4. SISMICITÀ

Il DM18 (Doc. [8]) stabilisce, con riferimento alla Tab. 2.4.I, che le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Figura 4.1:Tab. 2.4.I DM18

Le opere oggetto di tale relazione ricadono nel caso “Costruzioni temporanee e provvisorie” e pertanto le verifiche sismiche vengono omesse anche perché, nei casi in esame, le verifiche di stabilità risultano più gravose in condizioni statiche.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	11 di 45

## 5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

Di seguito è riportata una sintetica descrizione delle modalità esecutive previste per le opere idrauliche cui fanno riferimento le opere provvisionali e gli scavi oggetto di dimensionamento e verifica.

Per la realizzazione dei canali IN11 e IN12 e della vasca di laminazione sono previsti scavi a cielo aperto con pendenza 1:1.

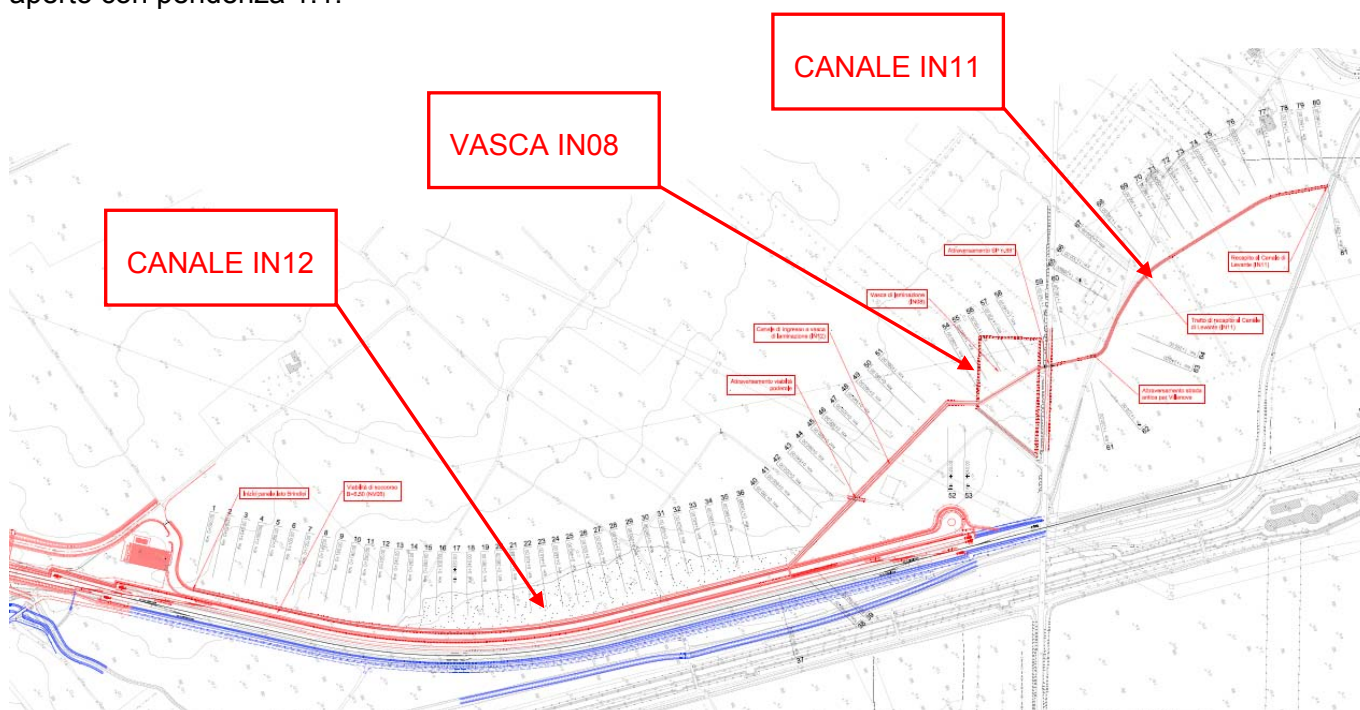


Figura 5.1: Canali IN11, IN12 e vasca di laminazione

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	12 di 45

Per la costruzione della vasca di prima pioggia IN06 sono previsti scavi a cielo aperto con pendenza 2V:30.

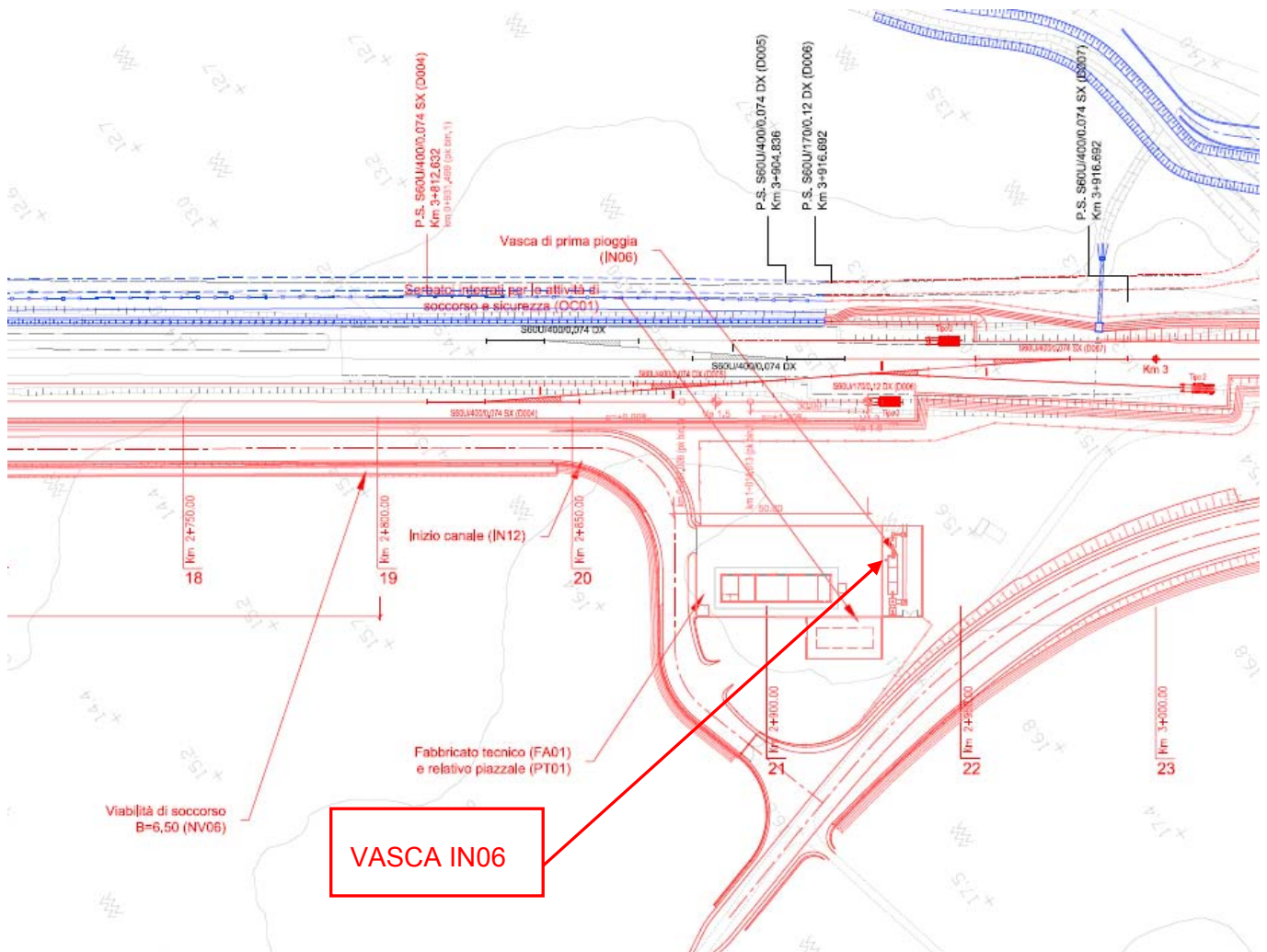


Figura 5.2: Vasca di prima pioggia IN06

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	13 di 45

Per la costruzione della **vasca di prima pioggia IN07** è previsto uno scavo sostenuto da palancole PU22 acciaio S275, lunghezza L=9.0 m.

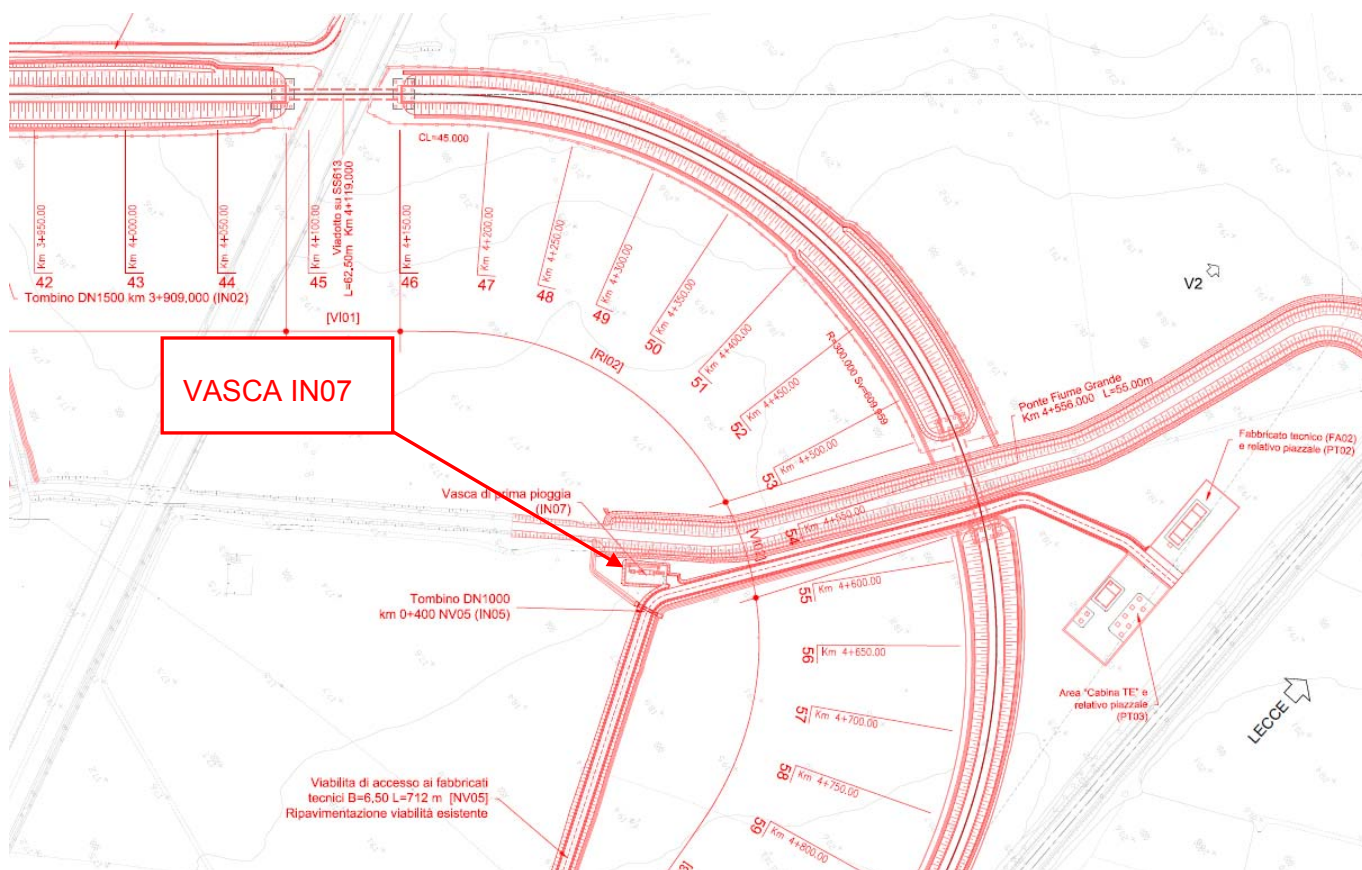


Figura 5.3: Vasca di prima pioggia IN07

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	14 di 45

## 6. MODELLO GEOTECNICO E IPOTESI DI CALCOLO


Per la definizione del modello geotecnico per le singole sezioni tipologiche da analizzare si è fatto riferimento a quanto definito dallo studio geotecnico generale (profili geotecnici Doc. Rif. [2] e [3], relazione geotecnica generale Doc. Rif. [1]).

Le unità geotecniche utilizzate e i relativi parametri sono riportati nella tabella seguente. Tali parametri saranno riportati di volta in volta per le varie analisi svolte con relativa stratigrafia adottata.

Unità	$\gamma$	$c'$	$c_u$	$\varphi$	$E$
	$\text{kN/m}^3$	$\text{kPa}$	$\text{kPa}$	$^\circ$	$\text{MPa}$
Ls (ms)	19	3	90	28	10
SL	19	0	-	34	22
Ls (ga)	19.5	8	75	29	28
AL	20	15	$0.22\sigma'_v \text{OCR}^{0.8}$	26	25

Nel calcolo delle paratie (palancole) i calcoli effettuati tengono conto della prescrizione contenuta al 6.5.2.2 del DM18 (Doc. Rif. [8]), per cui il modello geometrico deve considerare le possibili variazioni del profilo del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali. Inoltre, nei casi in cui la funzione di sostegno è affidata esclusivamente alla resistenza del volume di terreno a valle dell'opera, la quota del terreno di valle (fondo scavo) è stata diminuita di una quantità pari al minore dei seguenti valori:

- 10% dell'altezza di terreno da sostenere nel caso di opere a sbalzo;
- 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo nel caso di opere vincolate;
- 0.5 m.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>   <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b>  <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b></p>	<p>COMMESSA  IA7L</p>	<p>LOTTO  00</p>	<p>CODIFICA  D10CL</p>	<p>DOCUMENTO  IN0009001</p>	<p>REV.  A</p>	<p>FOGLIO  15 di 45</p>

## 7. APPROCCI PROGETTUALI PER LE VERIFICHE DELLE OPERE

Ai fini del progetto delle opere oggetto della relazione, sono stati considerati gli stati limite ultimi (SLU). Nel caso delle paratie, sono stati considerati anche gli stati limite di esercizio (SLE).

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

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

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

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

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

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

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

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

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

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

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisoriale delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	16 di 45

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

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

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

### 7.1.1. Azioni

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tabella 7.1.

Tabella 7.1: coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

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

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

I coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno sono indicati nella Tabella 7.2.



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b> NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>												
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b> Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisoriale delle opere idrauliche</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IA7L</td> <td>00</td> <td>D10CL</td> <td>IN0009001</td> <td>A</td> <td>17 di 45</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	17 di 45
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	17 di 45								

Tabella 7.2: coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

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

La verifica allo stato limite ultimo richiesta dal DM2018 per la stabilità dei fronti di scavo in condizioni statiche, prevede l'utilizzo della combinazione di coefficienti:

Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2,

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nella Tabella 7.3.

Tabella 7.3: coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1


### 7.1.2. Approccio progettuale per le verifiche delle opere di sostegno del tipo paratie in condizioni statiche

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

- Approccio 1, combinazione 1: A1+M1+R1 (STR);
- Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R1 (GEO).

I coefficienti parziali per le azioni (A) e per i parametri geotecnici del terreno (M) sono in accordo alla Tabella 7.1 e Tabella 7.2 mentre quelli sulle resistenze sono posti pari a  $R1=1$ .

Le verifiche di stabilità del complesso opera di sostegno-terreno sono state condotte con:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>   <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b>  <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA7L</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0009001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>18 di 45</p>

- Approccio 1, combinazione 2: A2+M2+R2 (GEO).

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nella Tabella 7.1 e Tabella 7.2 per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tabella 7.3 per le resistenze.

## 7.2. APPROCCIO PROGETTUALE PER LE VERIFICHE DEGLI STATI LIMITE IDRAULICI - SIFONAMENTO

La verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico  $i$  risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso.

Nel caso in esame verrà determinato il fattore di sicurezza al sifonamento con la relazione:

$$FS = \frac{i_c}{i_E} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \geq 3$$

Il gradiente idraulico medio è valutato cautelativamente come segue:

$$i_E = \frac{\Delta H_w}{h_{scavo} + 2 * \text{infiltrazione}} \cong \frac{\Delta H_w}{2 * \text{infiltrazione}}$$

Si riporta, solo per ulteriore cautela, il calcolo valutando il fattore di sicurezza confrontando la pressione idraulica instabilizzante  $u_{inst,d}$  e la pressione stabilizzante  $\sigma_{inst,d}$ , calcolati come da precedente decreto DM08.

## 7.3. VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

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

$$E_d \leq C_d,$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisoriale delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	19 di 45

## 8. CARICHI E AZIONI

I carichi considerati in fase di calcolo e verifica sono i seguenti:

- carico accidentale;
- spinta del terreno.

### 8.1. CARICO VARIABILE (Q1)

A monte delle paratie e degli scavi a cielo aperto, è considerato un carico accidentale. Tale carico, applicato ad una distanza di 1.0 m dall'asse dell'opera di sostegno, è di entità pari a 10 kPa quando riferito ai mezzi di cantiere e di lavoro.

### 8.2. SPINTA DEL TERRENO

La spinta del terreno sulle opere di sostegno è valutata sulla base del modello di interazione terreno struttura descritto al capitolo 9.

### 8.3. COMBINAZIONE DELLE AZIONI

Ai fini delle verifiche degli stati limite, si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni:

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	20 di 45

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I coefficienti di combinazione  $\psi$  sono dati dalle NTC2018 a secondo del tipo di struttura (Tab. 2.5.I oppure nella Tab. 5.1.VI per i ponti stradali e nella Tab. 5.2.VII per i ponti ferroviari).

Nel caso in esame sono state considerate le seguenti combinazioni di carico.

Tabella 8.1: combinazioni di carico.


ID	Tipo di combinazione		E	G1-G2	$\gamma_G$	Q1	$\gamma_Q$	$\psi$
SLU	A1+M1+R1	Statica		x	1.3	x	1.5	1
SLU	A2+M2+R1	Statica		x	1.0	x	1.3	1
SLE		Statica	x	x	1.0	x	1.0	1

## 9. DESCRIZIONE DEI PROGRAMMI UTILIZZATI NELLE ANALISI

### 9.1. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS PER L'ANALISI DELL'INTERAZIONE PARATIA-TERRENO

Al fine di rappresentare il comportamento dell'opera di sostegno durante le varie fasi di lavoro si è utilizzato un metodo di calcolo capace di simulare l'interazione terreno-paratia. L'analisi è stata sviluppata con il software Paratie Plus di Harpaceas.

PARATIE è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisorie delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  21 di 45

Il problema è visto come un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella seguente figura.

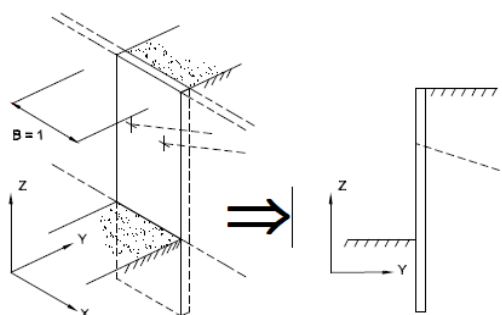


Figura 9.1: Modellazione piana della paratia.

La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “trave su suolo elastico”; le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale  $EJ$ , mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno.

Il limite di questo schema sta nell’ammettere che ogni porzione di terreno, schematizzata da una “molla”, abbia comportamento del tutto indipendente dalle porzioni adiacenti; l’interazione fra le varie regioni di terreno è affidata alla rigidità flessionale della parete.

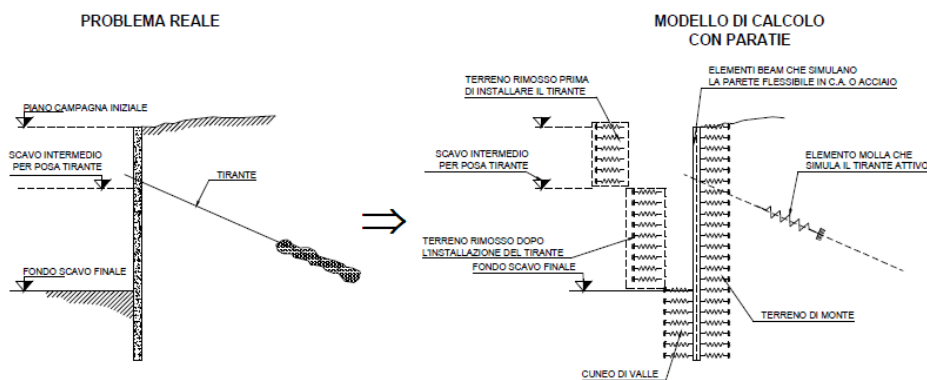


Figura 9.2: Schematizzazione terreno e vincoli (ancoraggi, puntoni, elem. strutturali).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  22 di 45

La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate/puntellate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi "statica incrementale": ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti/vincoli applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

L'analisi ha lo scopo di indagare la risposta strutturale in termini di deformazioni laterali subite dalla parete durante le varie fasi di scavo e di conseguenza la variazione delle pressioni orizzontali nel terreno. Per far questo, in corrispondenza di ogni nodo è necessario definire due gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

### **9.1.1. Coefficienti di spinta**

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici. In particolare i coefficienti di spinta attiva ( $k_a$ ) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb; i coefficienti di spinta passiva ( $k_p$ ) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007). In tutti i casi, spinta attiva e passiva, si considera un angolo di attrito terreno/parete ( $\delta$ ) pari a  $1/2\varphi'$ . Tale assunzione risulta cautelativa in relazione alle modalità realizzative delle opere quali le palancole infisse oggetto di questa relazione.

### **9.1.2. Verifiche delle palancole**

Nel caso di palancole composte da elementi a U si può tenere conto cautelativamente della significativa riduzione della resistenza e della rigidezza a causa della presenza di una giunzione non rigida tra elementi adiacenti, sull'asse neutro della sezione complessiva.

Allo scopo, in accordo con quanto suggerito da EC3 Parte 5, è possibile ridurre la resistenza tramite due coefficienti  $\beta_B$  e  $\beta_D$ :

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	23 di 45

$$M_{c,Rd} = \beta_B W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$$

sezioni in classe 1 e 2

$$M_{c,Rd} = \beta_B W_{el} f_y / \gamma_{M0}$$


sezioni in classe 3

$$(EI)_{eff} = \beta_D (EI)$$

Tali coefficienti sono assunti in riferimento alla tabella seguente, nel caso in esame (opere a sbalzo) si considerano quindi rispettivamente pari a 0.6 e 0.4.

Tabella 9.1: Coefficienti di riduzione resistenza e rigidità palancole.

Type of U-pile unit	No. of structural support levels (see note 1)	Reduction factors $\beta_B$ and $\beta_D$ referred to in clauses 5.2.2(2); 5.2.2(9); 5.2.3(2); 6.4(3) (see notes 2, 3, 4, and 5)					
		Highly unfavourable conditions (see note 6)		Unfavourable conditions (see note 7)		Favourable conditions (see note 8)	
		$\beta_B$	$\beta_D$	$\beta_B$	$\beta_D$	$\beta_B$	$\beta_D$
Singles or uncrimped doubles	0	0.40	0.30	0.50	0.35	0.60	0.40
	1	0.55	0.35	0.60	0.40	0.70	0.45
	>1	0.65	0.45	0.70	0.50	0.80	0.55
Crimped or welded doubles	0	0.70	0.60	0.75	0.65	0.80	0.70
	1	0.80	0.70	0.85	0.75	0.95	0.80
	>1	0.90	0.80	0.95	0.85	1.00	0.90

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b>  <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b>  <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b>  <b>NAZIONALE</b></p>					
<p><b>OPERE IDRAULICHE</b>   <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b>  <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>IA7L</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D10CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>IN0009001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>24 di 45</p>

## 9.2. DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO PARATIE PLUS – MODULO VSP PER L'ANALISI DI STABILITÀ

Il modulo VSP del software Paratie Plus permette di calcolare la stabilità complessiva di un versante, di un fronte di scavo o di un rilevato in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile. Paratie Plus utilizza i metodi dell'equilibrio limite, prevede la possibilità di scegliere diversi metodi di analisi e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite con metodologie differenti.

In particolare prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

- Metodo di Bishop semplificato;
- Metodo di Janbu semplificato;
- Metodo di Morgenstern & Price.

Tutti questi si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento, suddividendo la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e applicando le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne fra i conci) superano le equazioni disponibili. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato; in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti. Nelle analisi effettuate si è fatto riferimento al metodo di Bishop la cui ipotesi è che i vari conci si scambino azioni solo normali alle facce verticali, vale a dire azioni orizzontali; richiede inoltre che la superficie di scivolamento sia un arco di cerchio e determina il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione della massa instabile attorno al centro della circonferenza.

Per la definizione delle superfici da analizzare invece Paratie Plus offre la possibilità di scegliere tra le seguenti metodologie:

- Archi di cerchio aventi centro noto e raggi compresi in un intervallo;
- Archi di cerchio entranti e uscenti in posizioni note;



	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>NODO INTERMODALE DI BRINDISI</b> <b>INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE</b> <b>RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA</b> <b>NAZIONALE</b>					
<b>OPERE IDRAULICHE</b>  <b>Relazione di calcolo degli scavi e delle opere</b> <b>provvisoriale delle opere idrauliche</b>	COMMESSA  IA7L	LOTTO  00	CODIFICA  D10CL	DOCUMENTO  IN0009001	REV.  A	FOGLIO  25 di 45

-Griglia dei centri e limiti geometrici sui raggi.

Nel caso in esame è stato utilizzato il secondo modo e pertanto è stato definito un intervallo di entrata (a monte), uno di uscita (a valle) e il raggio massimo. Sulla base di questi intervalli il programma ha generato diversi archi di cerchio contraddistinti ovviamente da diversi centri.

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene quindi definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{disp}}{T_{mob}}$$

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura corticali (con profondità minori di 1 m ca.).

Nelle analisi di stabilità con il modulo VSP di Paratie Plus i parametri di resistenza delle unità geotecniche e i carichi variabili sono inseriti con i valori caratteristici; nelle analisi in condizioni statiche vengono poi fattorizzati in accordo ai criteri illustrati nel 7.1.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisoriale delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	26 di 45

## 10. IN11 E IN12 - ANALISI DI STABILITÀ SCAVO A CIELO APERTO

Nel seguito si riportano le analisi di stabilità condotte e i relativi fattori di sicurezza determinati per lo scavo a cielo aperto. L'altezza massima di scavo, di pendenza 1:1, risulta pari a 2.3 m, collocata sul percorso di IN11. Le analisi sono state condotte considerando che venga interessata dallo scavo solo l'unità geotecnica Ls(ms) i cui parametri sono riportati a seguire. La falda è stata considerata a -3.0 m da piano campagna. È stato inoltre considerato un sovraccarico variabile a tergo dello scavo pari a 10 kPa.

Unità	da	a	$\gamma$	$\varphi$	$c'$	$c_u$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	°	kPa	kPa
Ls(ms)	0.0	-	19	28	3	90

Per i dettagli parametri geotecnici, le condizioni di falda e la stratigrafia di riferimento si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale di cui al Doc. Rif. [1] e ai Profili Geotecnici (Doc. Rif. [2] e [3]).

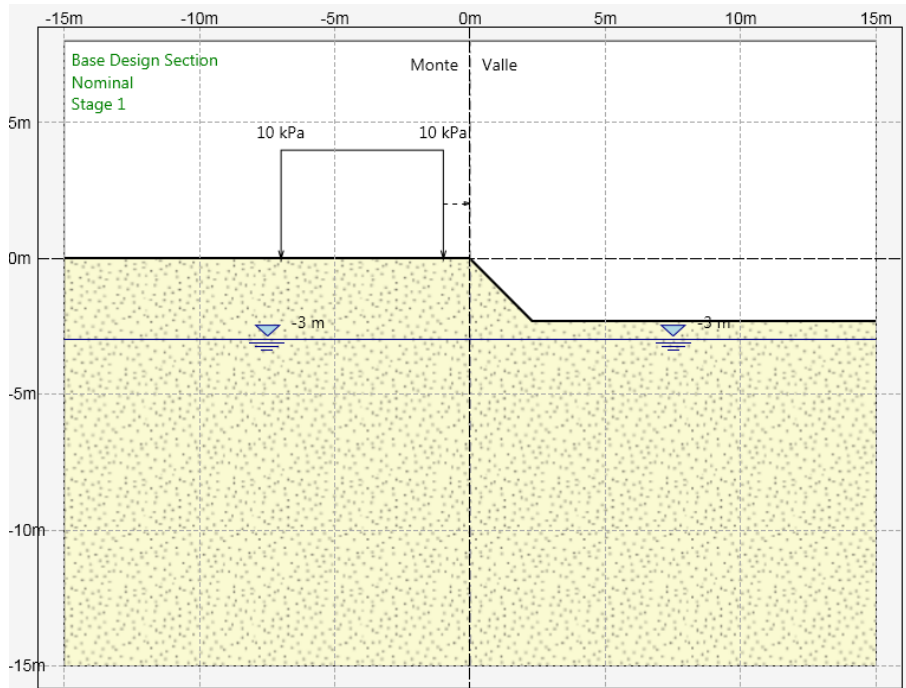
A seguire si riportano il modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus e i risultati nella combinazione A2-M2-R2.

Il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a  $FS = 1.14$  in condizioni drenate e pari a  $FS = 6.48$  in condizioni non drenate. Tali valori sono superiori a  $\gamma_R = 1.1$  e pertanto la verifica è soddisfatta.

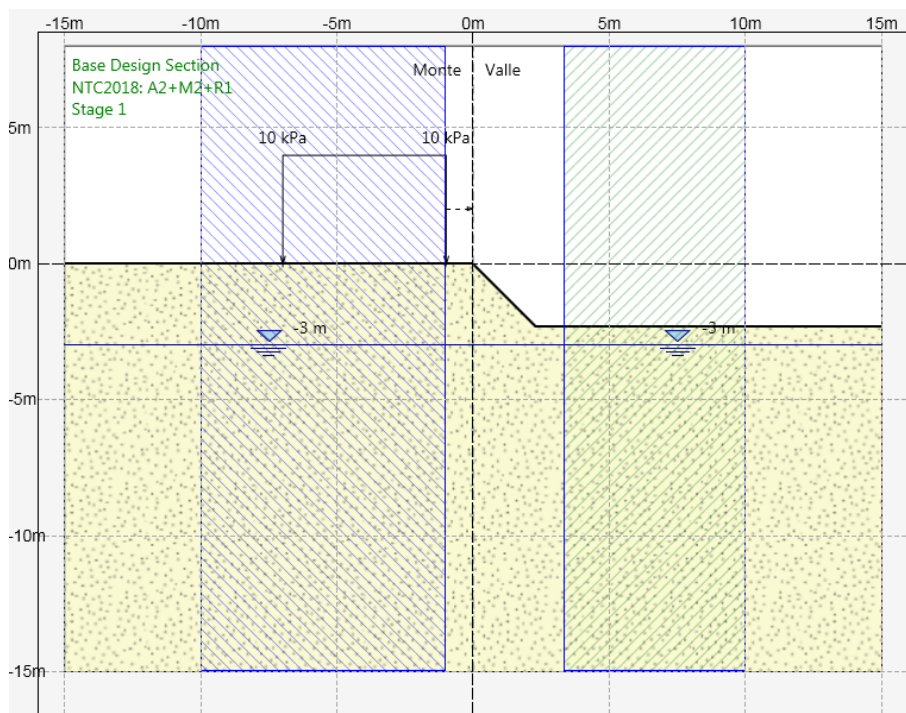
**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoriale delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	27 di 45



*Figura 10.1: modello di calcolo stabilità.*



*Figura 10.2: limiti ricerca superfici critiche.*

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoriale delle opere idrauliche**


COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	28 di 45

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 Eredita le proprietà dalla Fase: ▼

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop ▼

Definizione Superficie Critica  ▼

Massimo numero di iterazioni

Passo Conci

Tolleranza FS

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro ▼

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Intervalli

Estremo iniziale sinistra	<input type="text" value="-10 m"/>	Estremo iniziale destra	<input type="text" value="3.3 m"/>
Estremo finale sinistra	<input type="text" value="-1 m"/>	Estremo finale destra	<input type="text" value="10 m"/>
Suddivisioni intervallo s	<input type="text" value="10"/>	Suddivisioni intervallo d	<input type="text" value="10"/>
Raggio Massimo	<input type="text" value="25 m"/>	Numero Raggi	<input type="text" value="10"/>

Figura 10.3: superfici da analizzare.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere  
provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	29 di 45

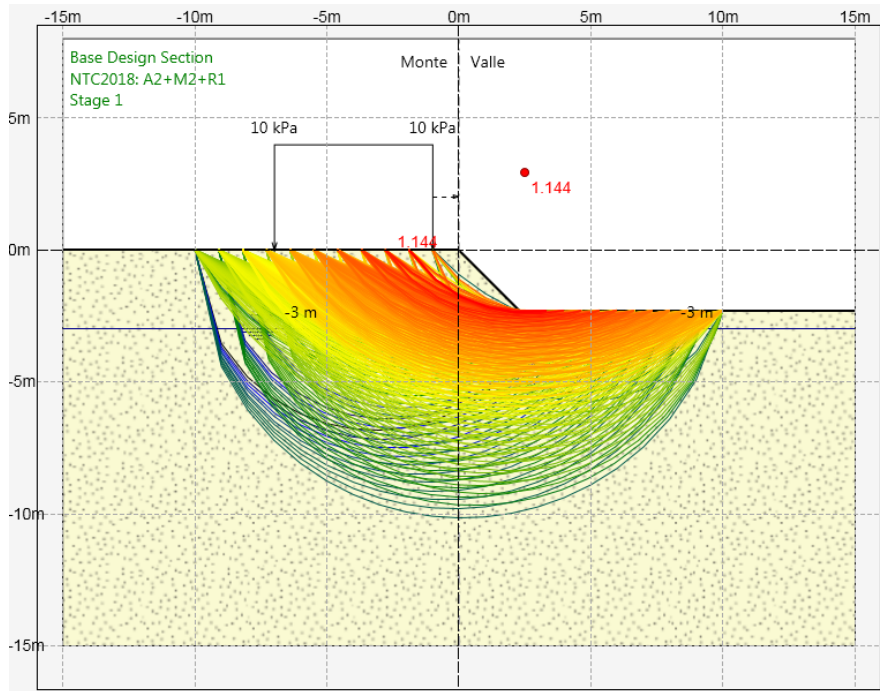


Figura 10.4: superfici analizzate in condizioni drenate.

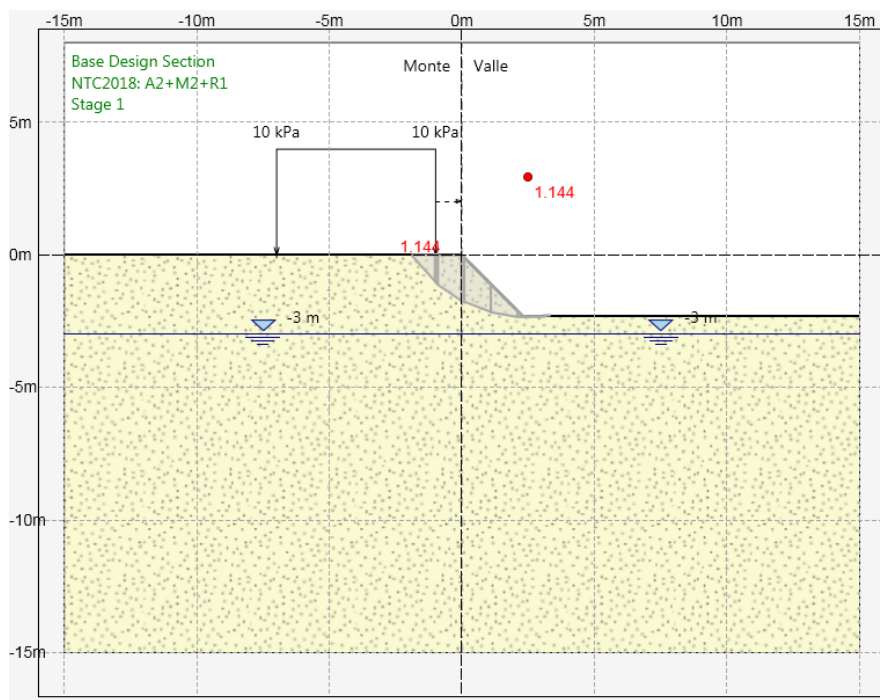


Figura 10.5: superficie critica in condizioni drenate.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere  
provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	30 di 45

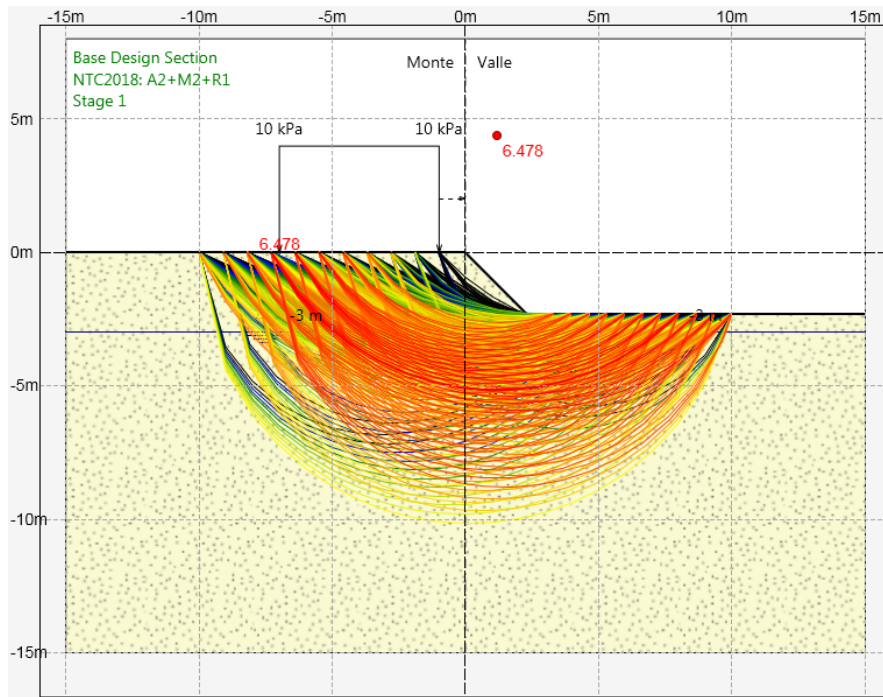


Figura 10.6: superfici analizzate in condizioni non drenate.

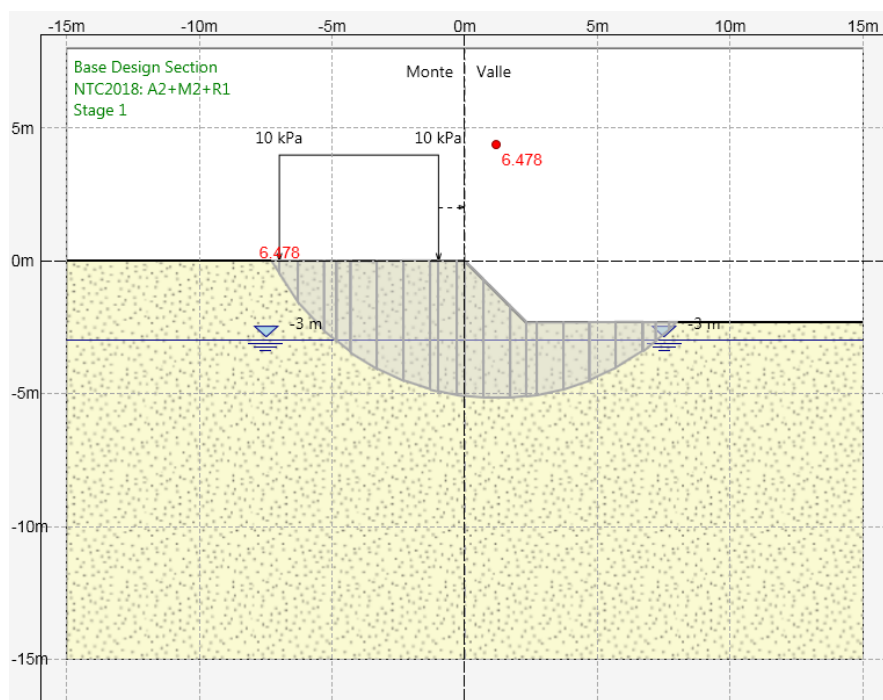


Figura 10.7: superficie critica in condizioni non drenate.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	31 di 45

## 11. VASCA DI PRIMA PIOGGIA IN06 - ANALISI DI STABILITÀ SCAVO A CIELO

Nel seguito si riportano le analisi di stabilità condotte e i relativi fattori di sicurezza determinati per lo scavo a cielo aperto. L'altezza massima di scavo, di pendenza 2V:3O, risulta pari a 3.3 m. Le analisi sono state condotte considerando che venga interessata dallo scavo solo l'unità geotecnica Ls(ms) i cui parametri sono riportati a seguire. La falda è stata considerata a -3.0 m da piano campagna. È stato inoltre considerato un sovraccarico variabile a tergo dello scavo pari a 10 kPa.

Unità	da	a	$\gamma$	$\varphi$	$c'$	$c_u$
	m	m	kN/m <sup>3</sup>	°	kPa	kPa
Ls(ms)	0.0	-	19	28	3	90

Per i dettagli parametri geotecnici, le condizioni di falda e la stratigrafia di riferimento si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale di cui al Doc. Rif. [1] e ai Profili Geotecnici (Doc. Rif. [2] e [3]).

A seguire si riportano il modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus e i risultati nella combinazione A2-M2-R2.

Il fattore di sicurezza minimo ottenuto è pari a  $FS = 1.18$  in condizioni drenate e pari a  $FS = 4.86$  in condizioni non drenate. Tali valori sono superiori a  $\gamma_R = 1.1$  e pertanto la verifica è soddisfatta.

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoriale delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	32 di 45

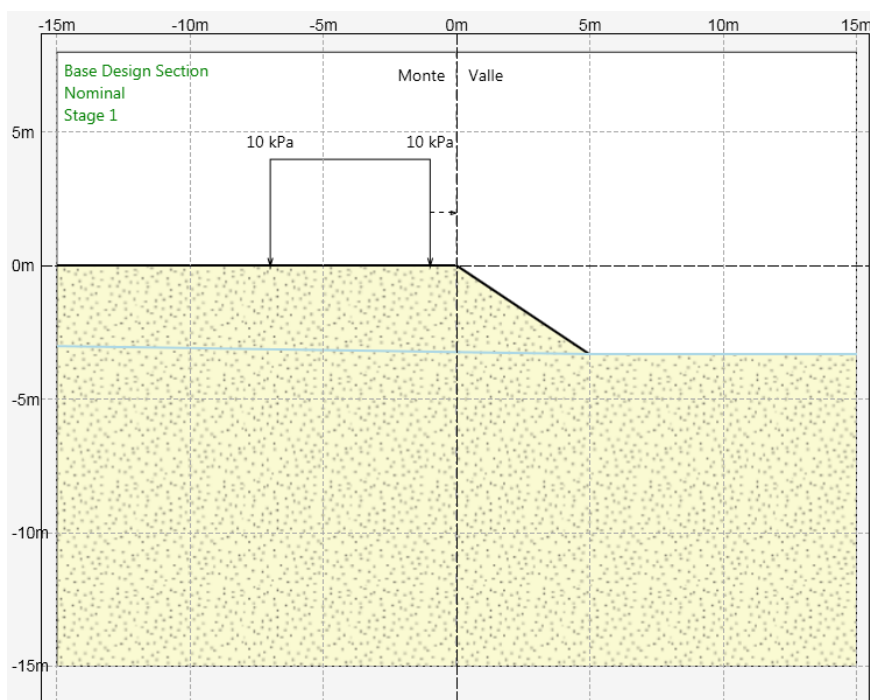


Figura 11.1: modello di calcolo stabilità.

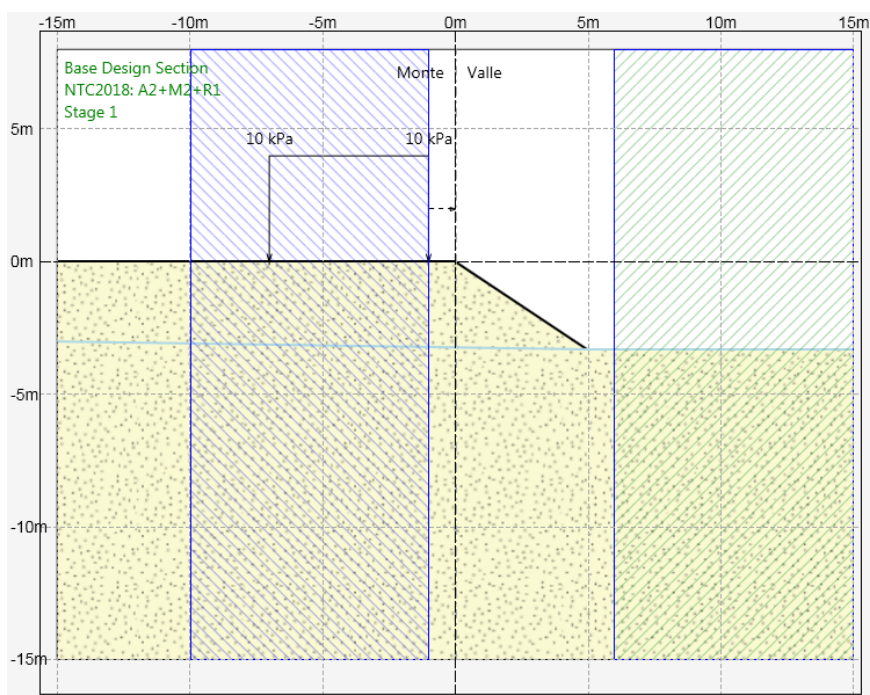


Figura 11.2: limiti ricerca superfici critiche.



**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoria delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	33 di 45

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 Eredita le proprietà dalla Fase: ▼

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop ▼

Definizione Superficie Critica ▼

Massimo numero di iterazioni

Passo Conci

Tolleranza FS

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro ▼

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Intervallo

Estremo iniziale sinistra	<input type="text" value="-10 m"/>	Estremo iniziale destra	<input type="text" value="5.95 m"/>
Estremo finale sinistra	<input type="text" value="-1 m"/>	Estremo finale destra	<input type="text" value="15 m"/>
Suddivisioni intervallo s	<input type="text" value="10"/>	Suddivisioni intervallo d	<input type="text" value="10"/>
Raggio Massimo	<input type="text" value="20 m"/>	Numero Raggi	<input type="text" value="10"/>

Applica
OK
Annulla

Figura 11.3: superfici da analizzare.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	34 di 45

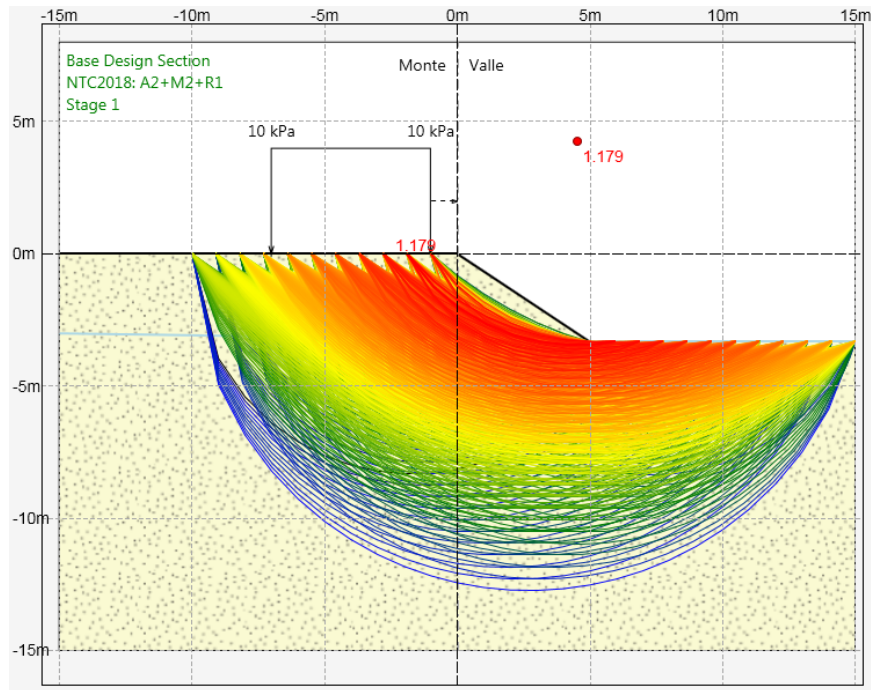


Figura 11.4: superfici analizzate in condizioni drenate.

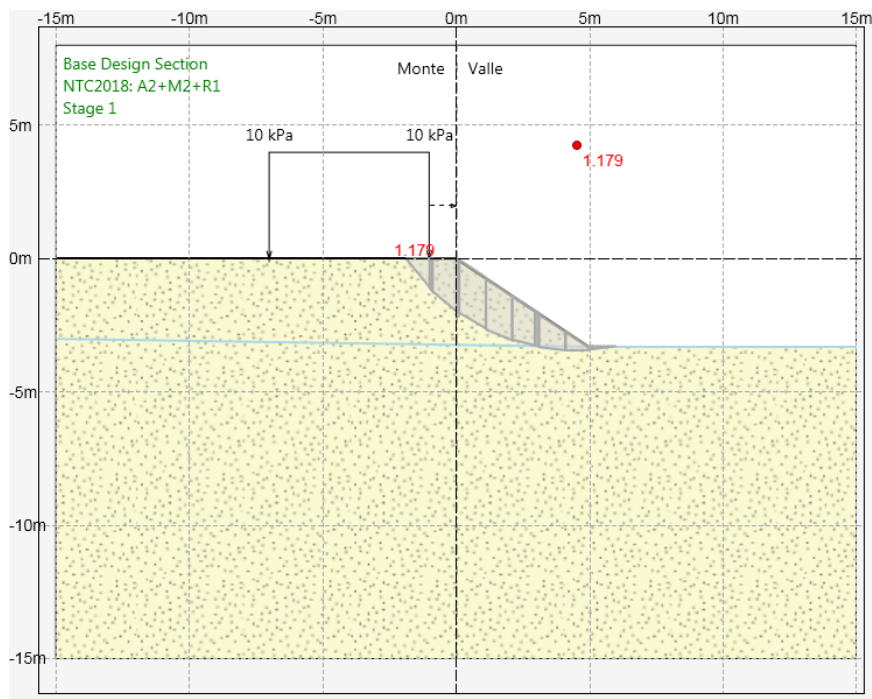


Figura 11.5: superficie critica in condizioni drenate.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	35 di 45

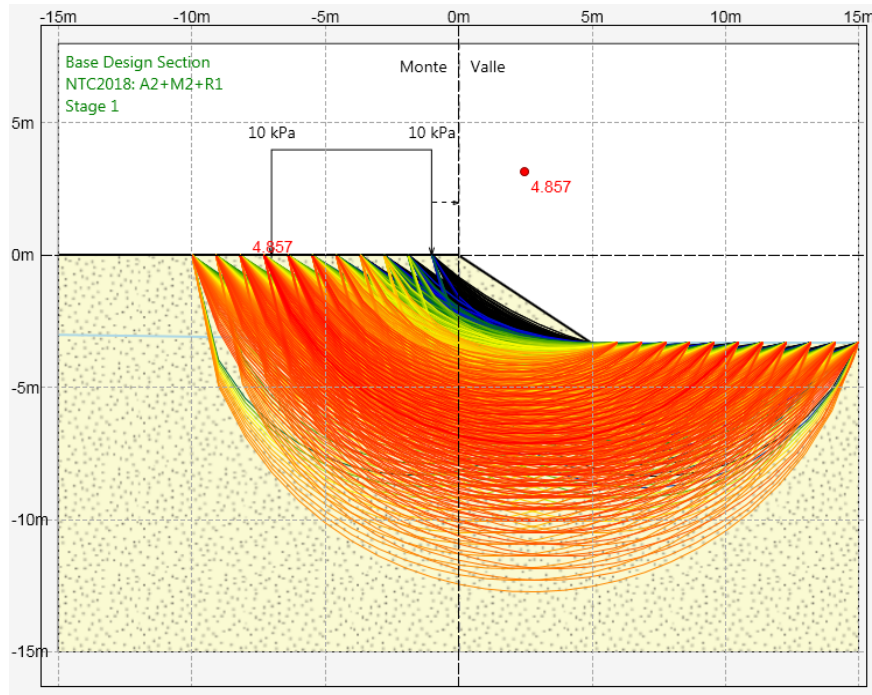


Figura 11.6: superfici analizzate in condizioni non drenate.

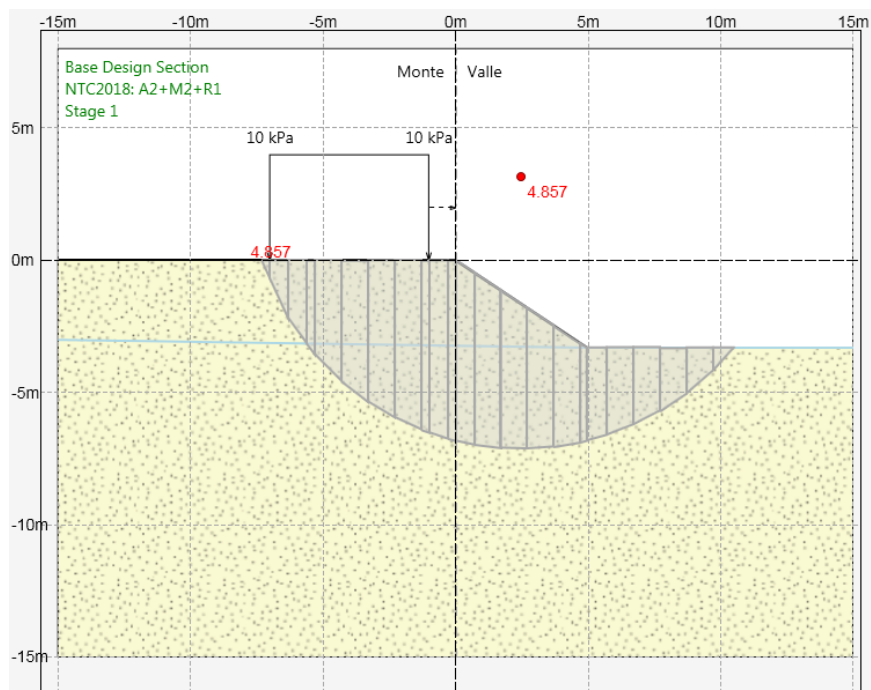


Figura 11.7: superficie critica in condizioni non drenate.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	36 di 45

## 12. VASCA DI PRIMA PIOGGIA IN07 - SCAVO CON PALANCOLE

A seguire l'analisi dello scavo provvisorio sostenuto da palancole per la realizzazione della vasca di prima pioggia. Le palancole del tipo PU22 in acciaio S275 hanno lunghezza  $L=9.0$  m.

### 12.1. MODELLO DI CALCOLO E STRATIGRAFIA

L'altezza di scavo massima da piano campagna risulta pari a 3.7 m. Prima di infiggere la palanca viene però effettuato un prescavo di 1.5 m pertanto l'opera di sostegno lavora a sbalzo su un'altezza di 2.2 m. Tenendo presente i criteri esposti al capitolo 0 riguardo l'altezza di calcolo si adotta un'altezza  $h_D$  pari a 2.4 m da testa palanca (3.9 da p.c.). La falda è stata considerata a -2.0 m da piano campagna.

La stratigrafia utilizzata è la seguente:

Unità	da	a	$\gamma$	$\phi$	$c'$	E
	m	m	$\text{kN/m}^3$	°	kPa	MPa
Ls(ms)	0.0	1.5	19.0	28	3	9
SL	1.5	7.0	19.0	34	-	18
Ls(ga)	7.0	12.0	19.5	29	8	28
AL	12.0	32.0	20.0	26	15	22

Per i dettagli parametri geotecnici, le condizioni di falda e la stratigrafia di riferimento si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale di cui al Doc. Rif. [1] e al Profilo Geotecnico di linea (Doc. Rif. [3]).

Il modello si basa sulle seguenti fasi di calcolo:

- Fase 1: condizione geostatica;
- Fase 2: prescavo;
- Fase 3: costruzione opera provvisoria;
- Fase 4: applicazione sovraccarico da mezzi di cantiere pari a 10 kPa;
- Fase 5: scavo fino a quota fondo scavo

Di seguito si riporta il modello di calcolo con la stratigrafia di riferimento.

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoriale delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	37 di 45

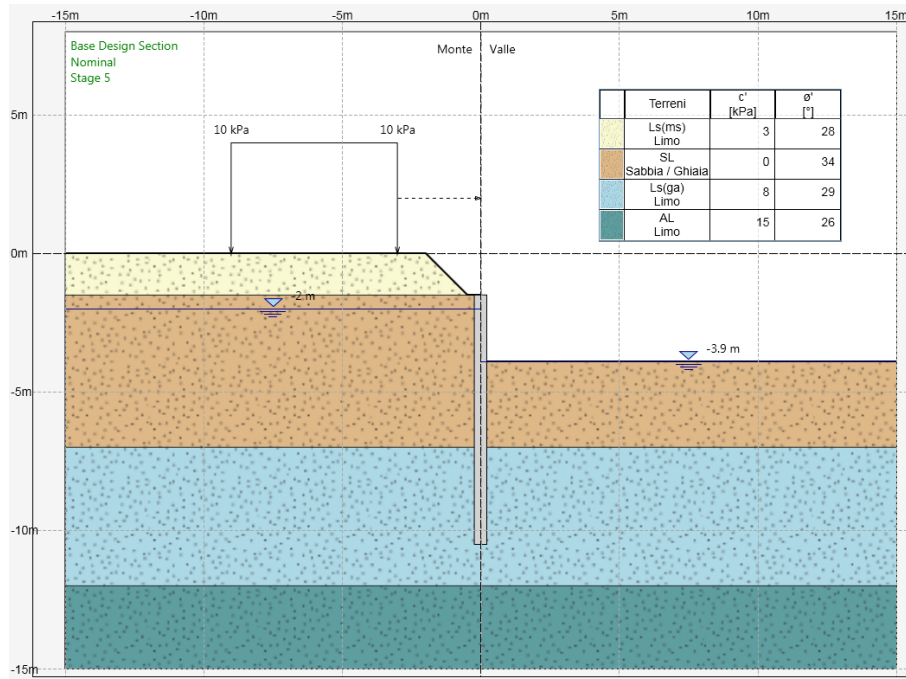


Figura 12.1: modello di calcolo.

Di seguito si riportano le spinte calcolate dal programma per la combinazione GEO.

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisoriale delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	38 di 45

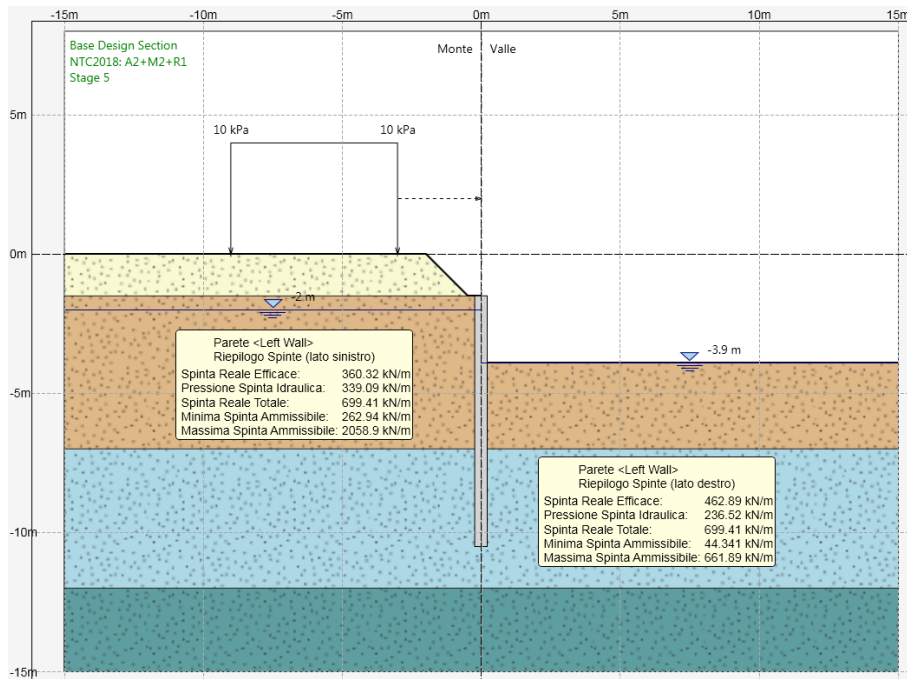


Figura 12.2: modello di calcolo e spinte.

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	39 di 45

## 12.2. SINTESI DEI RISULTATI

### 12.2.1. Sintesi dei risultati allo SLE

Nella figura seguente si riportano gli spostamenti nell'ultima fase di calcolo:

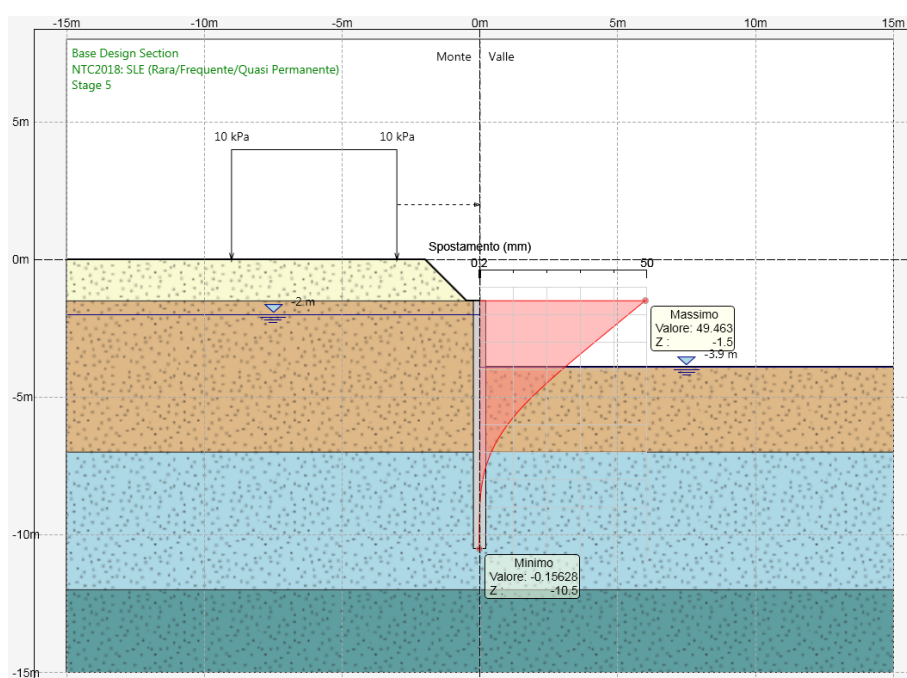


Figura 12.3: spostamenti SLE.

Lo spostamento massimo in testa risulta pari a 4.95 cm.

### 12.2.2. Sintesi dei risultati allo SLU

Nelle figure seguenti si riportano i diagrammi dei momenti e i diagrammi del taglio nell'ultima fase di calcolo, corrispondente alle condizioni A1+M1+R1 (STR) e A2-M2-R1 (GEO).

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisionali delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	40 di 45

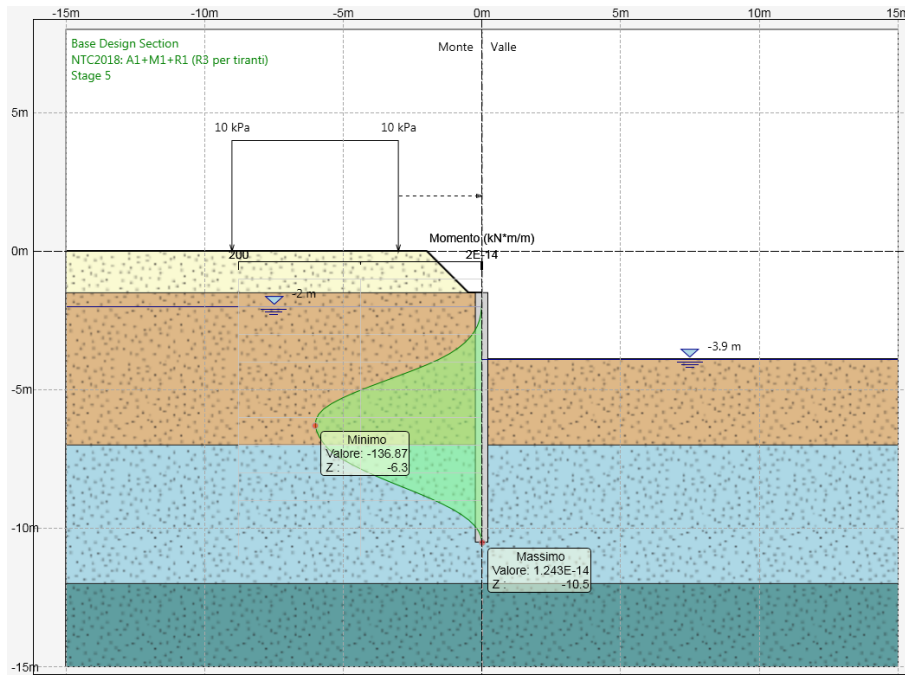


Figura 12.4: diagramma momenti flettenti (STR).

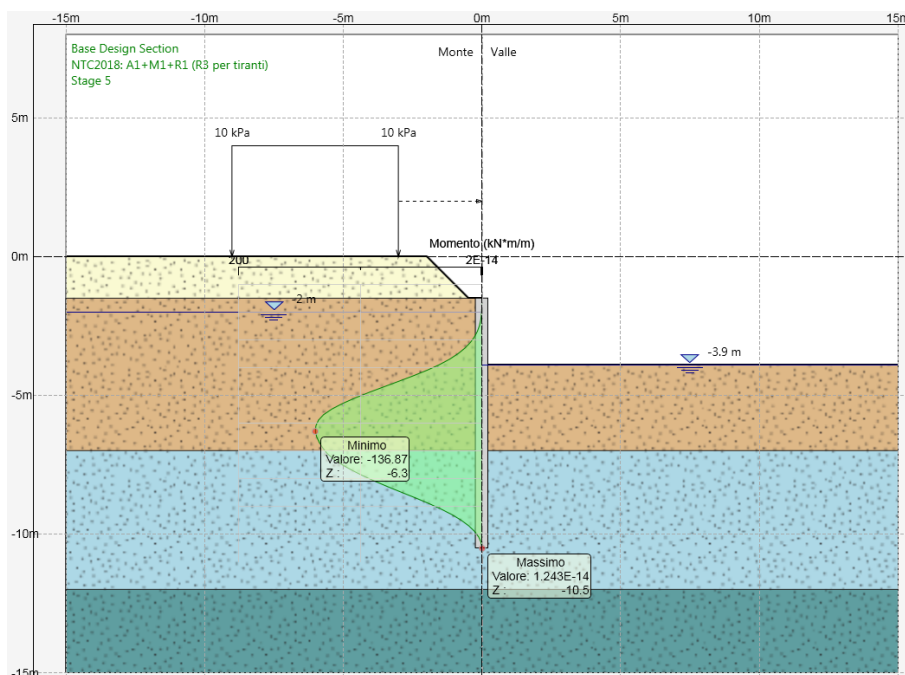


Figura 12.5: diagramma momenti flettenti (GEO).



**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisionali delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	41 di 45

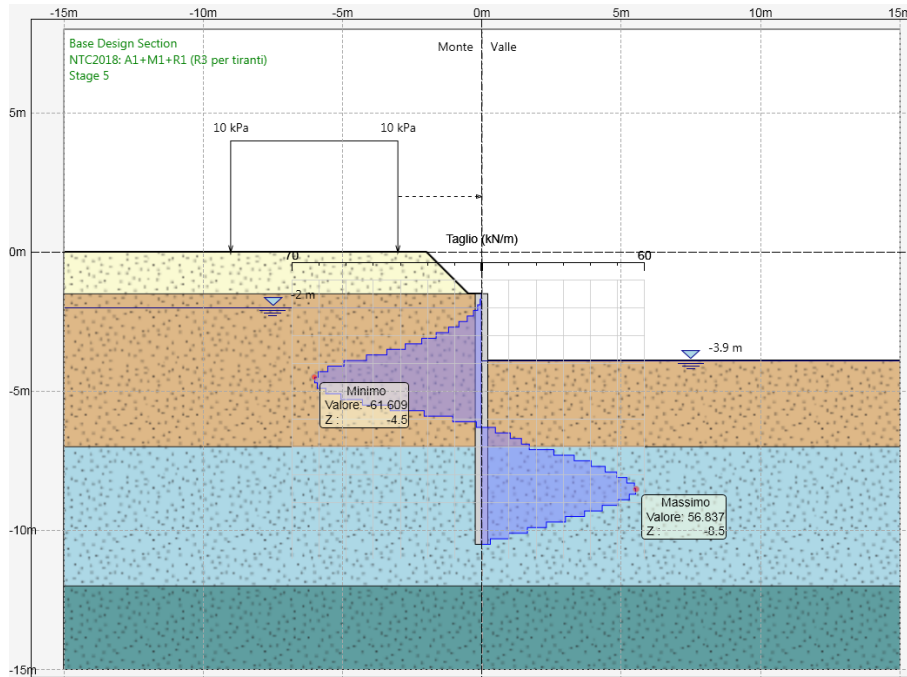


Figura 12.6: diagramma taglio (STR).

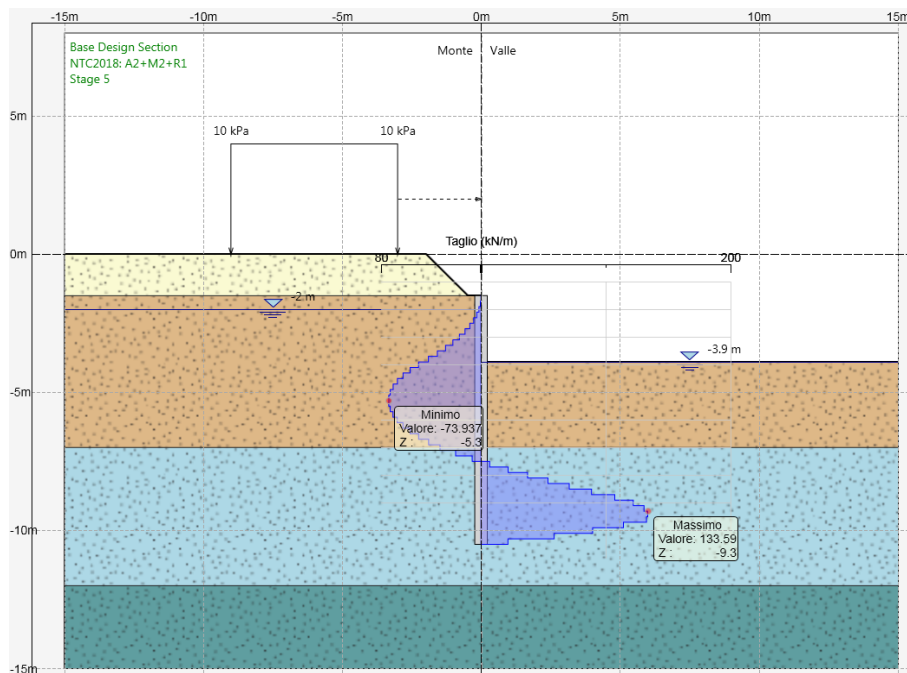


Figura 12.7: diagramma taglio (GEO).

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	42 di 45

**12.1. VERIFICHE ELEMENTI STRUTTURALI**

Nelle figure seguenti si riportano i tassi di sfruttamento calcolati dal programma per la condizione A1+M1+R1 e A2-M2-R1. I tassi di sfruttamento risultano sempre inferiori a 1, pertanto le verifiche delle sezioni sono soddisfatte.

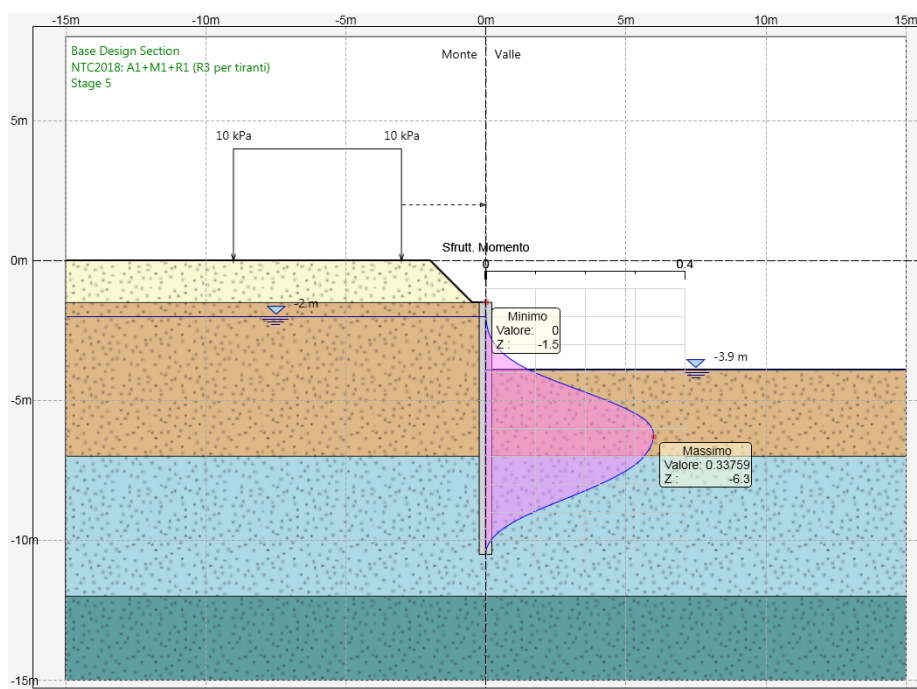


Figura 12.8: tasso sfruttamento momento (STR).

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere  
provvisorie delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	43 di 45

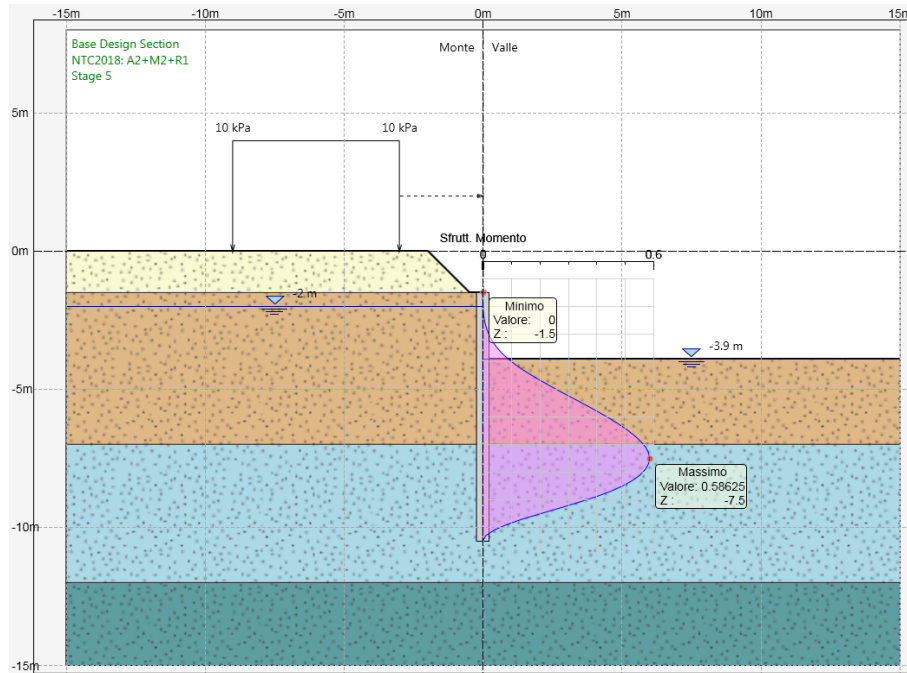


Figura 12.9: tasso sfruttamento momento (GEO).

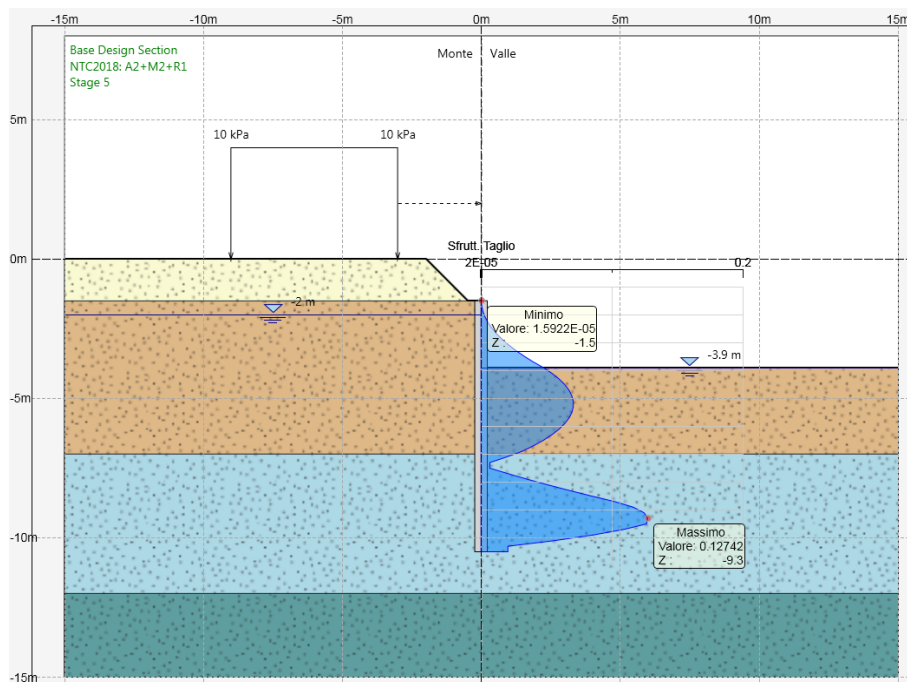


Figura 12.10: tasso sfruttamento taglio (STR).

**OPERE IDRAULICHE**

**Relazione di calcolo degli scavi e delle opere**  
**provvisionali delle opere idrauliche**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	44 di 45

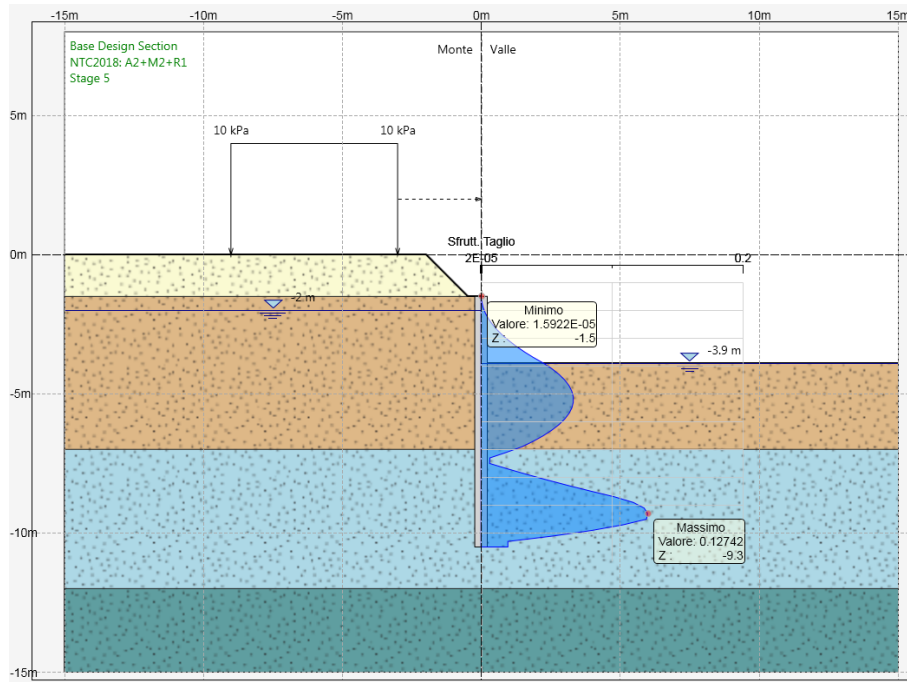


Figura 12.11: tasso sfruttamento taglio (GEO).

**OPERE IDRAULICHE**

Relazione di calcolo degli scavi e delle opere  
provvisoriale delle opere idrauliche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	IN0009001	A	45 di 45

**12.2. SIFONAMENTO**

Di seguito la verifica a sifonamento, effettuata sia secondo DM08 che DM18.

SIFONAMENTO:		
	1.9 $\Delta H_w$ [m] monte-valle	
	2.4 $h_{scavo}$ [m]	
	6.6 infissione [m]	
	9 $H_{tot}$ [m]	
	19 $\gamma_{valle}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	
Verifiche stati limite ultimi idraulici (DM 08)	0.9 $i_{crit}$ [-]	
	3 FS da garantire	
	0.14 $i_{eff}$ [-]	
	Verifica Gradiente soddisfatta	
	98.2 $u_{inst,d}$ [kPa]	
	112.9 $\sigma_{stab,d}$ [kPa]	
	Verifica a Sifonamento soddisfatta	
Caso frontiera di efflusso libera (DM 18)	0.30 $i_{crit,d}$ ( $\gamma_R=3$ )	
	0.14 $i_{eff}$ [-]	
	Verifica Gradiente soddisfatta	

La verifica risulta soddisfatta.