

**S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"  
TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA  
1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola**

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **PG143**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Federico Durastanti  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° Terni n°A844

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

**Il Responsabile di Progetto**

Arch. Pianificatore Marco Colazza

**Il Responsabile del Procedimento**

Dott. Ing.  
Alessandro Micheli

**PROTOCOLLO**

**DATA**

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

**MANDATARIA:**

**MANDANTI:**







Dott.Ing. N.Granieri  
Dott.Arch. N.Kamenicky  
Dott.Ing. V.Truffini  
Dott.Arch. A.Bracchini  
Dott.Ing. F.Durastanti  
Dott.Ing. E.Bartolucci  
Dott.Geol. G.Cerquiglini  
Geom. S.Scopetta  
Dott.Ing. L.Sbrenna  
Dott.Ing. E.Sellari  
Dott.Ing. L.Dinelli  
Dott.Ing. L.Nani  
Dott.Ing. F.Pambianco  
Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini  
Dott. Ing. S.Sacconi  
Dott. Ing. C.Consorti  
Dott. Ing. E.Loffredo  
Dott. Ing. C.Chierichini

Dott. Ing. V.Rotisciani  
Dott. Ing. F.Macchioni  
Geom. C.Vischini  
Dott. Ing. V.Piunno  
Dott. Ing. G.Pulli  
Geom. C.Sugaroni



**11.SOTTOVIA  
11.02 SOTTOPASSO KM 4+212**

**Relazione di calcolo opere provvisionali**

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	<i>T00ST02STRRE03B</i>		
<b>DTPG143</b>	<b>E</b>	<b>23</b>	<b>T00ST02STRRE03</b>	<b>B</b>	-
<b>B</b>	Rev. A seguito istr. ANAS		<i>Set 2023</i>	<i>F.Brunori</i>	<i>F.Durastanti</i>
<b>A</b>	Emissione		<i>Ago 2023</i>	<i>F.Brunori</i>	<i>F.Durastanti</i>
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO
					APPROVATO

INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
1.1	OGGETTO E SCOPO.....	2
1.2	DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALI.....</b>	<b>6</b>
3.1	CALCESTRUZZO MAGRONE.....	6
3.2	CALCESTRUZZO CORDOLI.....	6
3.3	ACCIAIO TUBI PER MICROPALI.....	6
3.4	MISCELE CEMENTIZIE PER CEMENTAZIONE MICROPALI E INIEZIONE TIRANTI.....	6
3.5	TIRANTI DI ANCORAGGIO.....	6
<b>4</b>	<b>SOFTWARE DI CALCOLO.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....</b>	<b>8</b>
5.1	TERRENO DI RICOPRIMENTO/RINTERRO.....	8
5.2	TERRENO DI FONDAZIONE.....	8
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b>DESCRIZIONE MODELLO DI CALCOLO.....</b>	<b>14</b>
<b>8</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>23</b>
8.1	PESO PROPRIO DELLA STRUTTURA.....	23
8.2	SPINTA DELLE TERRE.....	23
8.3	CARICHI ACCIDENTALI DA TRAFFICO.....	23
8.4	AZIONI SISMICHE.....	23
<b>9</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA.....</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>SINTESI RISULTATI.....</b>	<b>26</b>
<b>11</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO.....</b>	<b>31</b>
<b>12</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>33</b>
12.1	MICROPALI IN ACCIAIO.....	33
12.2	TIRANTI DI ANCORAGGIO.....	37
12.2.1.1	Verifica a trazione dell'armatura.....	37
12.2.1.2	Verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio.....	38
12.2.1.3	Verifica aderenza malta.....	39
12.3	TRAVE DI RIPARTIZIONE.....	40
<b>13</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>40</b>
<b>14</b>	<b>TABULATO PARATIE PLUS.....</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Oggetto e scopo

La presente relazione ha per oggetto il dimensionamento e le verifiche di resistenza secondo il metodo semiprobabilistico agli Stati Limite (S.L.) dell'opera provvisoria relativa al sottopasso S02 km 4+200. L'opera stradale servita è denominata "Strada delle tre valli umbre" e si snoda fra lo svincolo di progetto della S.G.C. E45 in località Acquasparta e lo svincolo della nuova Flaminia (SS.3) in località Eggi per una lunghezza di 20+885 km. L'opera è ubicata nell'area del comune di Spoleto (PG) in prossimità della frazione Madonna di Baiano.

Si riportano le immagini del sito di ubicazione dell'opera e della planimetria di progetto:



Figura 1-1. Localizzazione geografica dell'opera

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

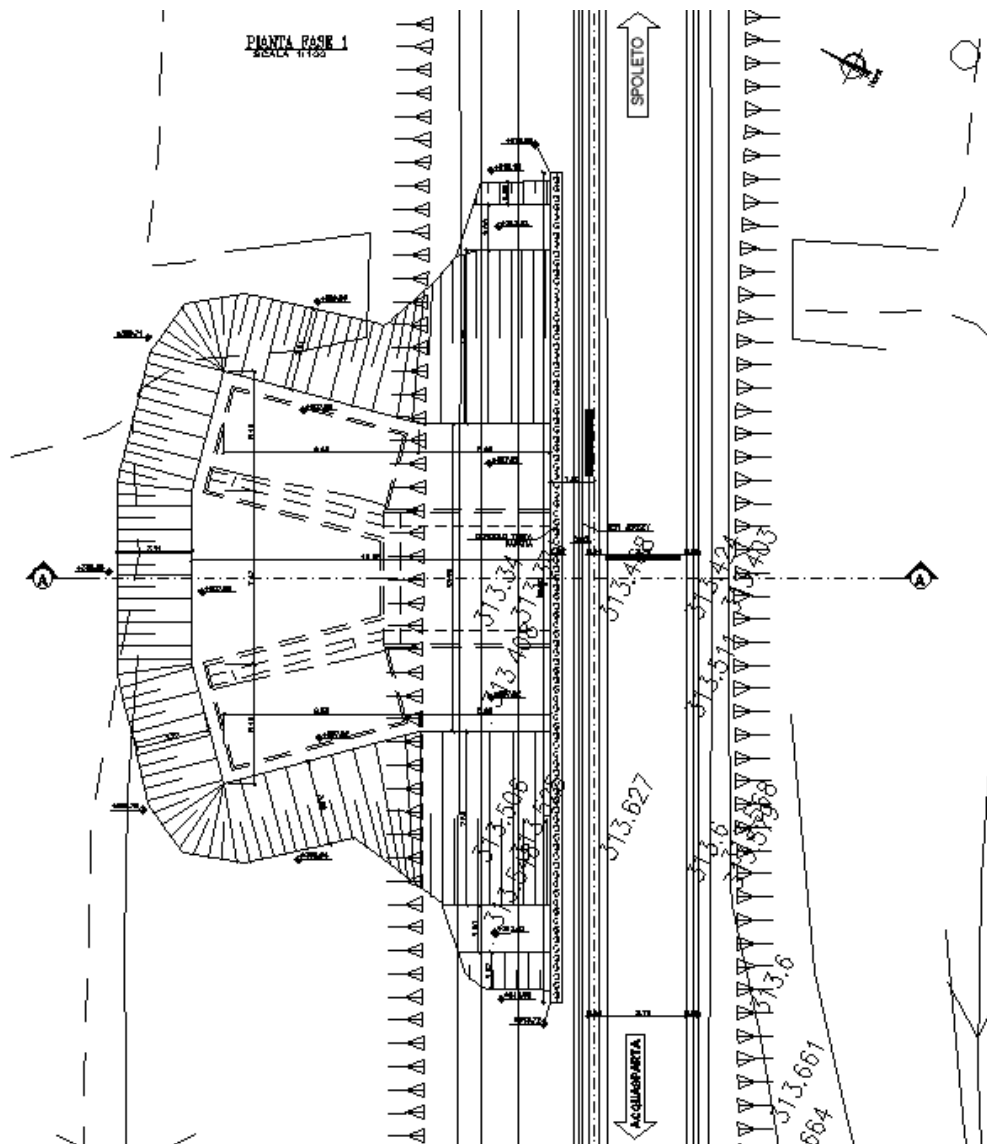


Figura 1-2. Planimetria dell'opera

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate secondo il DM 17 gennaio 2018.

## 1.2 Descrizione dell'opera

L'opera consiste in una paratia di micropali F 240 passo 0.40m e lunghezza  $L=13.0m$ , armati con tubolare CHS 139.7x12.5mm in acciaio. L'altezza di scavo di calcolo è pari a 6.50m, avendo sommato all'altezza effettiva di scavo 0.50m, come previsto al §6.5.2.2 delle NTC2018. È previsto l'inserimento di un ordine di tiranti di lunghezza  $L=12.0m$  (lunghezza libera  $L_l=4.0m$  e lunghezza bulbo  $L_b=8.0m$ ) e interasse  $i=1.6m$ , inclinati di  $20^\circ$  rispetto all'orizzontale. I tiranti sono costituiti da 3 trefoli da 0.6" in acciaio armonico.

Di seguito si riporta una sezione trasversale:

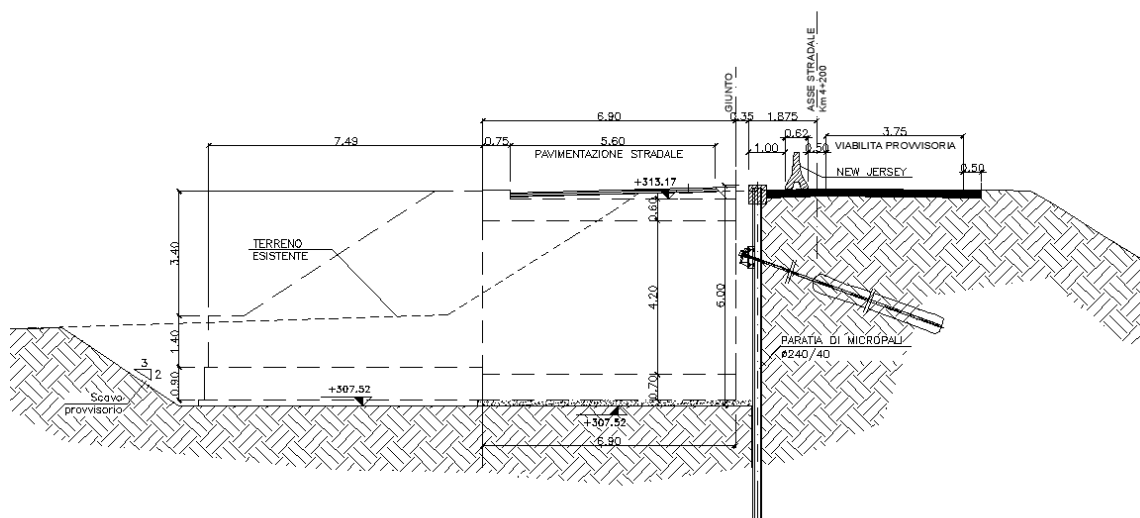


Figura 1-3. Sezione trasversale dell'opera

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni, DM del 17/01/2018;
- Legge 05/01/1971 n°1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica;
- Legge 02/02/1974 n°64: Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- C.M. 21/01/2019 n.7: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- UNI EN 1991-1-4:2005: Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento;
- UNI EN 1992-1-1:2005: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1992-2:2006: Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1993-1-1:2005: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-2:2007: Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti;
- UNI EN 1998-1:2005: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 2: Ponti;

### **3 MATERIALI**

#### **3.1 Calcestruzzo magrone**

##### **Conglomerato classe di resistenza C12/15 – Rck 15MPa**

Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 15 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 12 \text{ N/mm}^2$

#### **3.2 Calcestruzzo cordoli**

##### **Conglomerato classe di resistenza C28/35 – Rck 35MPa**

Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 28 \text{ N/mm}^2$

Classe di esposizione: XC2

Classe di consistenza slump: S4

Copriferro armatura principale 50 mm

#### **3.3 Acciaio tubi per micropali**

##### **Acciaio S355**

Tensione caratteristica di snervamento:  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

#### **3.4 Miscele cementizie per cementazione micropali e iniezione tiranti**

##### **Conglomerato classe di resistenza C25/30 – Rck 30MPa**

Resistenza caratteristica cubica:  $R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$

Resistenza caratteristica cilindrica:  $f_{ck} = 25 \text{ N/mm}^2$

#### **3.5 Tiranti di ancoraggio**

##### **Tiranti a trefoli da 0.6” in acciaio armonico**

Tensione caratteristica di rottura:  $f_{ptk} = 1860 \text{ MPa}$

Tensione caratteristica all'1%  
di deformazione totale  $f(1)_{tk} = 1670 \text{ MPa}$

#### **4 SOFTWARE DI CALCOLO**

Si è utilizzato il software di calcolo PARATIE PLUS versione 21 [Ce.A.S. s.r.l. - Milano] per il calcolo delle sollecitazioni sugli elementi strutturali e per le verifiche dei pali.



## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

### 5.1 Terreno di ricoprimento/rinterro

Per il terreno di ricoprimento/rinterro sono state assunte le seguenti caratteristiche geotecniche:



### 5.2 Terreno di fondazione

Si riportano di seguito i parametri geotecnici ell'unità geologica intercettata dall'opera:

Unità ALL:

$$g_k = 18 - 19 \text{ kN/m}^3$$

$$c'_k = 0 \text{ kPa}$$

$$f'_{k'} = 38^\circ - 42^\circ$$

$$E_k = 25 - 50 \text{ MPa}$$

Ai fini delle verifiche si adotteranno i seguenti parametri:

$$g = 18.5 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$f' = 40^\circ$$

$$E = 37.5 \text{ MPa}$$

La falda si trova ad una profondità di circa 7.3 m dal p.c.

Dalle indagini condotte si evince una categoria stratigrafica di suolo pari a 'C'.

## 6 INQUADRAMENTO SISMICO

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento, in accordo a quanto specificato a riguardo dal D.M. 17 gennaio 2018.

Sulla base delle indicazioni delle NTC2018 si assumono i seguenti valori per determinare l'azione sismica di riferimento.

L'ubicazione del sito in oggetto (Long: 12.67378; Lat: 42.73267):

- Classe d'uso:	IV
- Coefficiente d'uso:	$C_u (IV) = 2.0$
- Categoria topografica:	T1
- Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T=1$
- Categoria di sottosuolo	C
- Vita nominale:	$V_N = 10$ anni
- Vita di riferimento	$V_R = 35$ anni
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_s = 1.453$

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:  LATITUDINE:

Ricerca per comune


REGIONE:  PROVINCIA:  COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	<ul style="list-style-type: none"> <li>SLO - <math>P_{VR} = 81\%</math> <input type="text" value="30"/></li> <li>SLD - <math>P_{VR} = 63\%</math> <input type="text" value="35"/></li> </ul>	
Stati limite ultimi - SLU	<ul style="list-style-type: none"> <li>SLV - <math>P_{VR} = 10\%</math> <input type="text" value="332"/></li> <li>SLC - <math>P_{VR} = 5\%</math> <input type="text" value="682"/></li> </ul>	

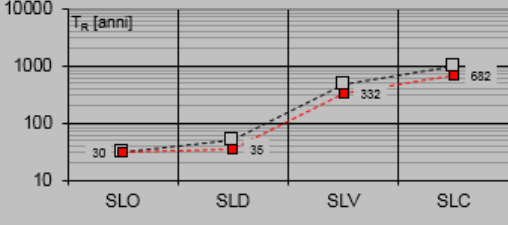
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato SLV [info](#)

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo C [info](#)       $S_s = 1.453$        $C_c = 1.540$  [info](#)

Categoria topografica T1 [info](#)       $h/H = 1.000$        $S_T = 1.000$  [info](#)  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)      Smorzamento  $\xi$  (%) 5       $\eta_1 = 1.000$  [info](#)

Spettro di progetto inelastico (SLU)      Fattore  $q_o$  1      Regol. in altezza si [info](#)

Compon. verticale

Spettro di progetto      Fattore  $q$  1       $\eta_1 = 1.000$  [info](#)

Elaborazioni

[Grafici spettri di risposta](#) ➔

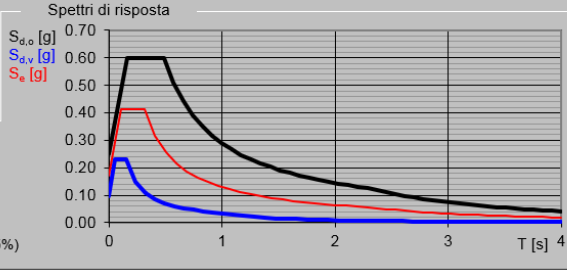
[Parametri e punti spettri di risposta](#) ➔

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Spettri di risposta



INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0.065	2.460	0.269
SLD	35	0.069	2.460	0.272
SLV	332	0.171	2.411	0.313
SLC	682	0.218	2.442	0.324

**Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.171 g
$F_a$	2.411
$T_c$	0.313 s
$S_s$	1.453
$C_c$	1.540
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.453
$\eta$	1.000
$T_B$	0.161 s
$T_C$	0.483 s
$T_D$	2.284 s

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_a} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_c(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_a \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_c(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	$S_e$ [g]
	0.000	0.248
$T_B \leftarrow$	0.161	0.539
$T_C \leftarrow$	0.483	0.539
	0.568	0.508
	0.654	0.442
	0.740	0.390
	0.826	0.350
	0.911	0.317
	0.997	0.290
	1.083	0.267
	1.169	0.247
	1.255	0.230
	1.340	0.216
	1.426	0.203
	1.512	0.191
	1.598	0.181
	1.683	0.172
	1.769	0.163
	1.855	0.156
	1.941	0.149
	2.026	0.143
	2.112	0.137
	2.198	0.131
$T_D \leftarrow$	2.284	0.127
	2.366	0.118
	2.447	0.110
	2.529	0.103
	2.611	0.097
	2.692	0.091
	2.774	0.086
	2.856	0.081
	2.938	0.076
	3.019	0.072
	3.101	0.069
	3.183	0.065
	3.264	0.062
	3.346	0.059
	3.428	0.056
	3.510	0.054
	3.591	0.051
	3.673	0.049
	3.755	0.047
	3.837	0.045
	3.918	0.043
	4.000	0.041

**Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV**

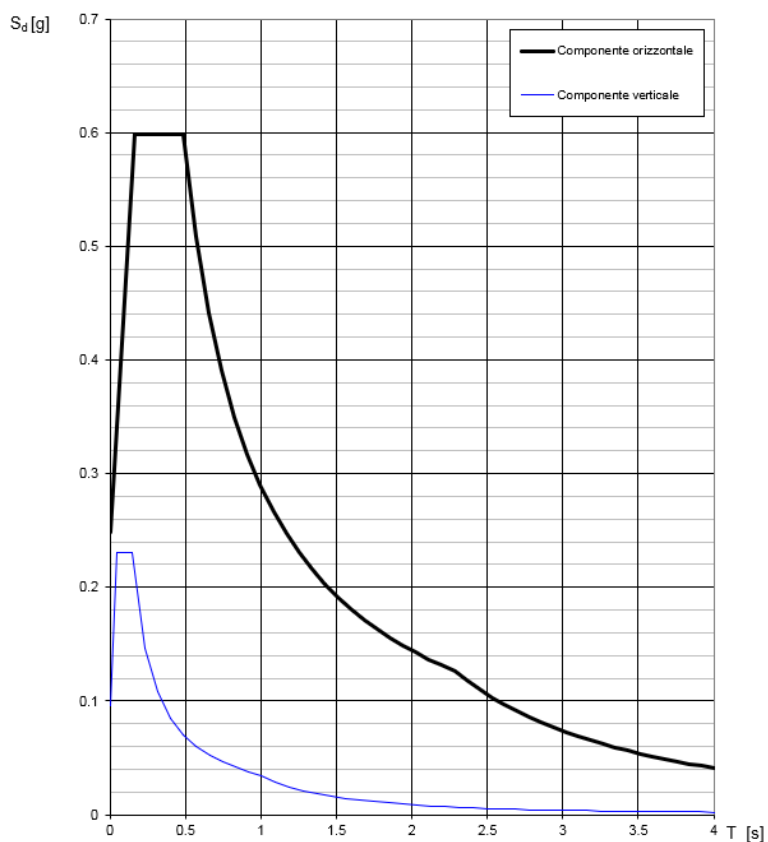


Figura 6.1. Spettro di Risposta SLV. Componenti orizzontali e orizzontali del sisma

## 7 DESCRIZIONE MODELLO DI CALCOLO

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o eventuale inserimento degli elementi di contrasto), è necessario l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti sono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".



Al fine di ottenere informazioni attendibili sull'entità delle sollecitazioni e delle deformazioni nelle paratie è necessario poterne seguire il comportamento durante le principali fasi esecutive.

A tal riguardo, l'interazione fra la paratia e il terreno, è simulata modellando la prima con elementi finiti caratterizzati da una rigidità flessionale ed il secondo con molle elasto-plastiche connesse ai nodi della paratia di rigidità proporzionale al modulo di rigidità del terreno.

Inoltre, è possibile modellare eventuali elementi di sostegno della paratia (tiranti, puntoni) con molle dotate di opportuna rigidità.

In particolare, la paratia è schematizzata attraverso un diaframma di spessore equivalente ricavato attraverso la seguente espressione:

$$s_{eq} = \sqrt[3]{12E_m J_p}$$

dove:

- $E_m$ : modulo elastico del materiale costituente la paratia
- $J_p$ : inerzia della sezione della paratia

Il terreno si comporta come un mezzo elastico sino a che il rapporto tra la tensione orizzontale efficace ( $\sigma'_{h}$ ) e la tensione verticale efficace ( $\sigma'_{v}$ ) risulta compreso tra il coefficiente di spinta attivo ( $k_a$ ) e passivo ( $k_p$ ), mentre quando il rapporto è pari a  $k_a$  o a  $k_p$  il terreno si comporta come un mezzo elasto-plastico.

Questo modello, nella sua semplicità concettuale, derivato direttamente dal modello di Winkler, consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare, sono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle fasi esecutive.

I parametri di deformabilità del terreno compaiono nella definizione della rigidità delle molle. Per un letto di molle distribuite la rigidità di ciascuna di esse,  $k$ , è data da:

$$k = E / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Poiché nel programma PARATIE le molle sono posizionate a distanze finite  $\Delta$ , la rigidità di ogni molla è:

$$k = E\Delta / L$$

dove  $E$  è un modulo di rigidità del terreno mentre  $L$  è una grandezza geometrica caratteristica.

Il valore di  $\Delta$  è fornito dalla schematizzazione ad elementi finiti. Il valore di  $L$  è fissato automaticamente dal programma. Esso rappresenta una grandezza caratteristica che è diversa a valle e a monte della paratia perché diversa è la zona di terreno coinvolta dal movimento in zona attiva e passiva. Si è scelto:



in zona attiva (uphill):

$$L_A = \frac{2}{3} \ell_A \tan(45^\circ - \phi' / 2)$$

in zona passiva (downhill):

$$L_P = \frac{2}{3} \ell_P \tan(45^\circ + \phi' / 2)$$

con:

I = altezza totale della paratia

H = altezza corrente dello scavo.

La logica di questa scelta è illustrata nella pubblicazione di Becci e Nova (1987). Si assume in ogni caso un valore di H non minore di 1/10 dell'altezza totale della parete.

Il programma consente di seguire le fasi evolutive degli scavi a valle dell'opera, determinando, per ciascuna fase di scavo prevista, la deformata dell'opera e le sollecitazioni e gli stati tensionali nel terreno con essa interagente. Il software consente di tener conto anche della presenza di vincoli lungo la paratia, sia di tipo elastico (molle /tiranti) che di tipo rigido.

La presenza dei tiranti viene infine schematizzata dal software come dei vincoli elastici, la cui deformabilità dipende dalle caratteristiche della sezione resistente in acciaio dei tiranti e dalla lunghezza libera degli stessi, eventualmente incrementata di una quantità funzione dell'efficienza ( $\leq 1$ ) associata al bulbo di ancoraggio. Il software utilizzato, consente di modellare l'interazione con il terreno della struttura, in particolare le spinte statiche e dinamiche delle terre, durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale, in modo da valutare l'evoluzione dello stato deformativo e sollecitativo. La sezione di calcolo considerata è quella parallela al tracciato ferroviario.

Di seguito si riportano le fasi di calcolo modellate.

- **FASE 1:** geostatica;
- **FASE 2:** esecuzione cordolo e micropali e applicazione del carico accidentale;
- **FASE 3:** scavo preliminare per la realizzazione dei tiranti di ancoraggio;
- **FASE 4:** realizzazione dei tiranti di ancoraggio;
- **FASE 5:** scavo finale;
- **FASE 6:** applicazione dell'azione sismica allo SLV:

**FASE 1**

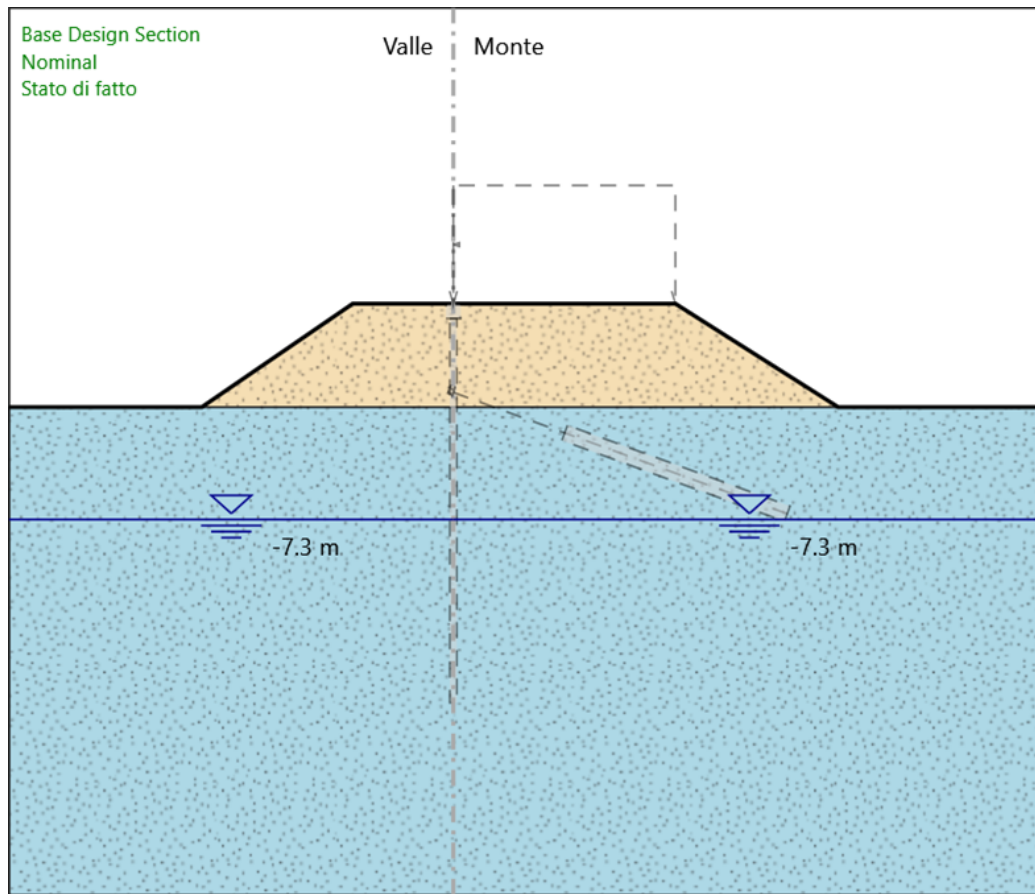


Figura 7-1. Fase 1 – Stato di fatto

**FASE 2**

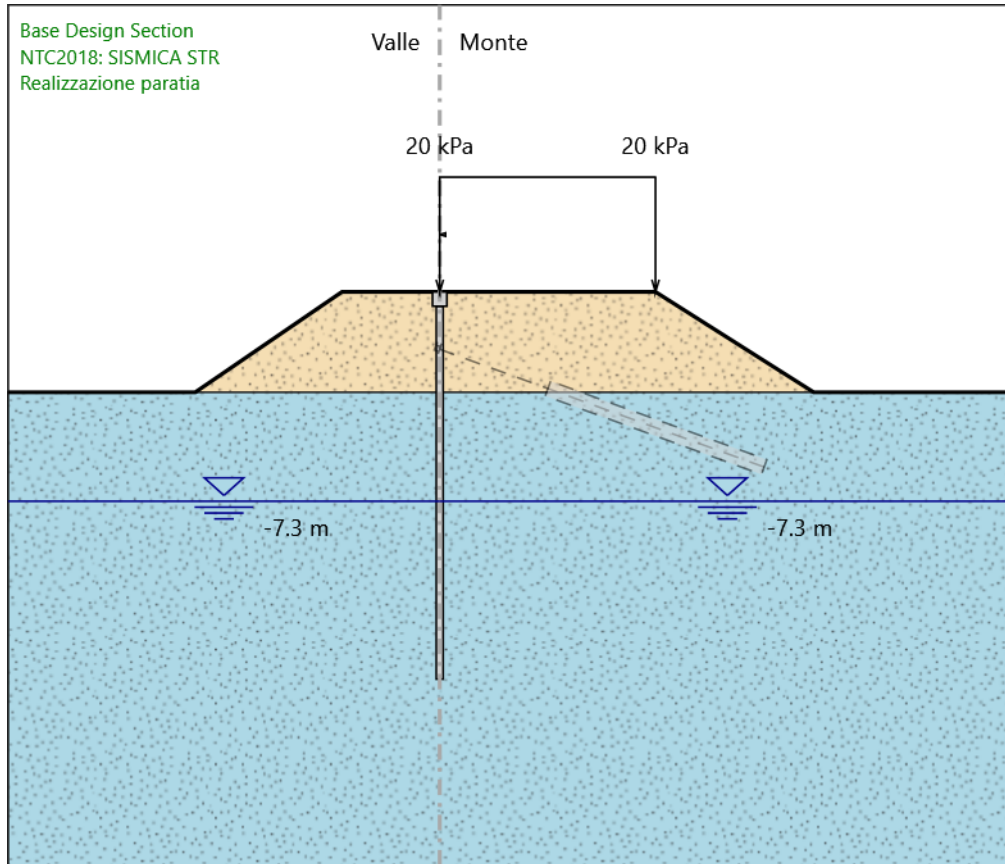


Figura 7-2. Fase 2 - Esecuzione cordolo e micropali e applicazione carico accidentale

**FASE 3**

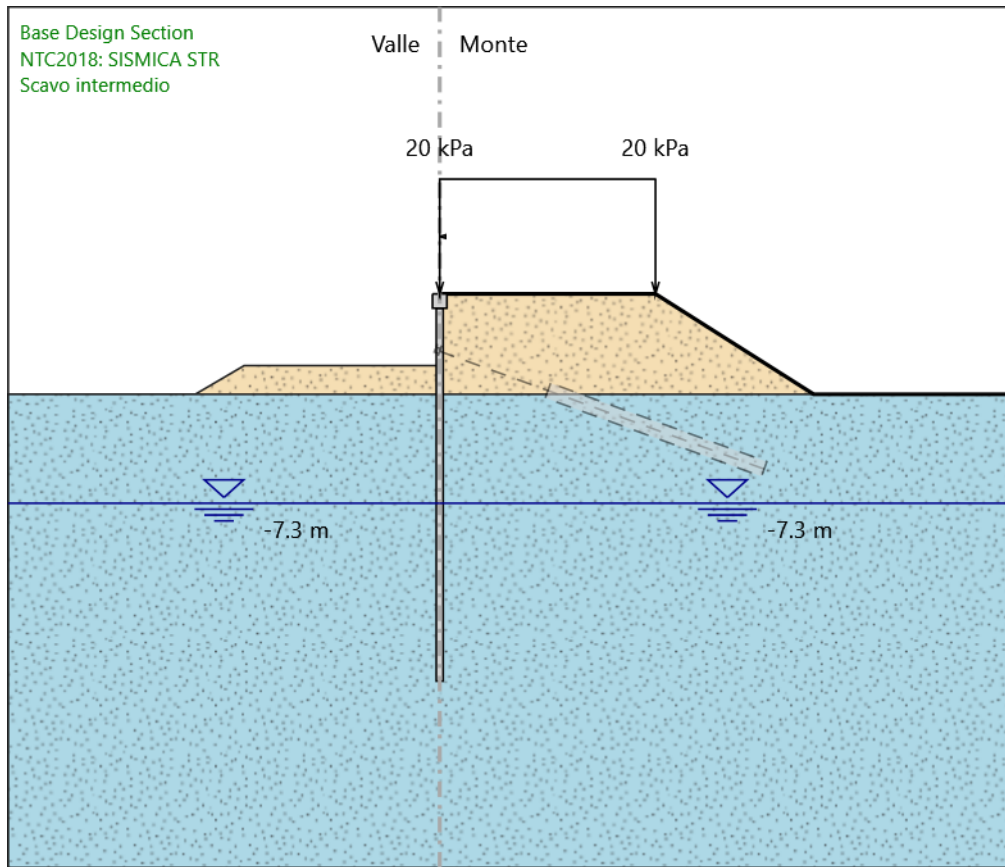


Figura 7-3. Fase 3 -Scavo preliminare per la realizzazione dei tiranti di ancoraggio

**FASE 4**

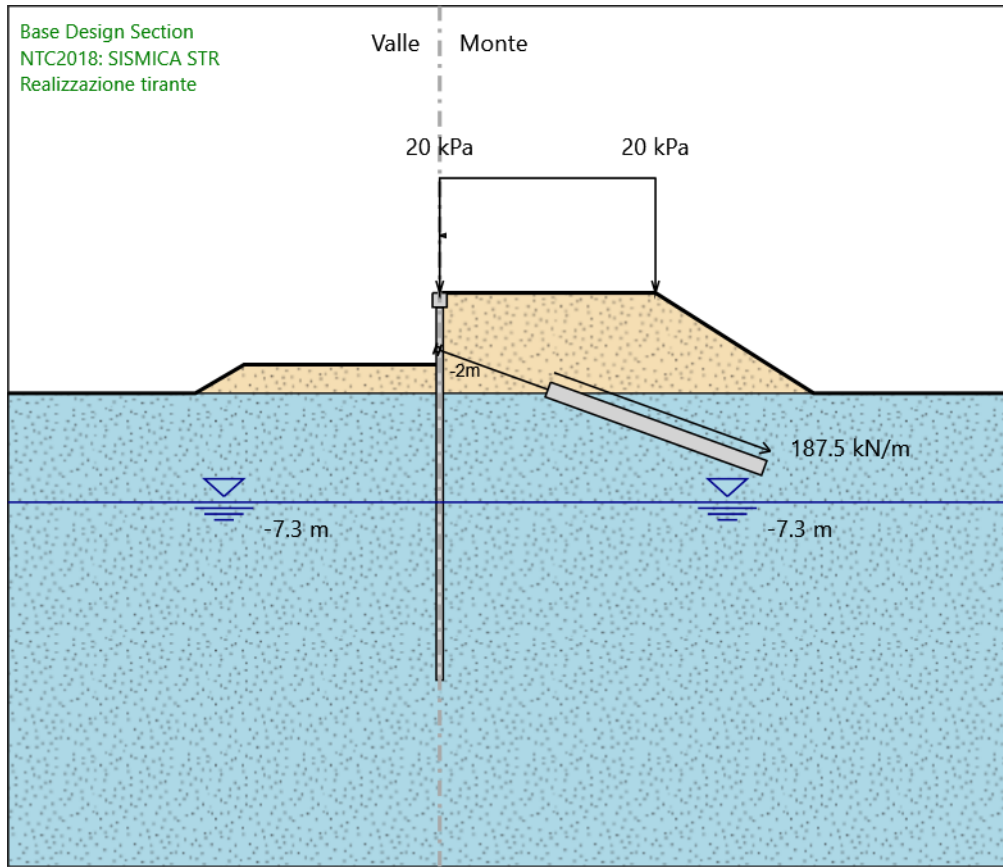


Figura 7-4. Fase 4 – Realizzazione dei tiranti di ancoraggio

**FASE 5**

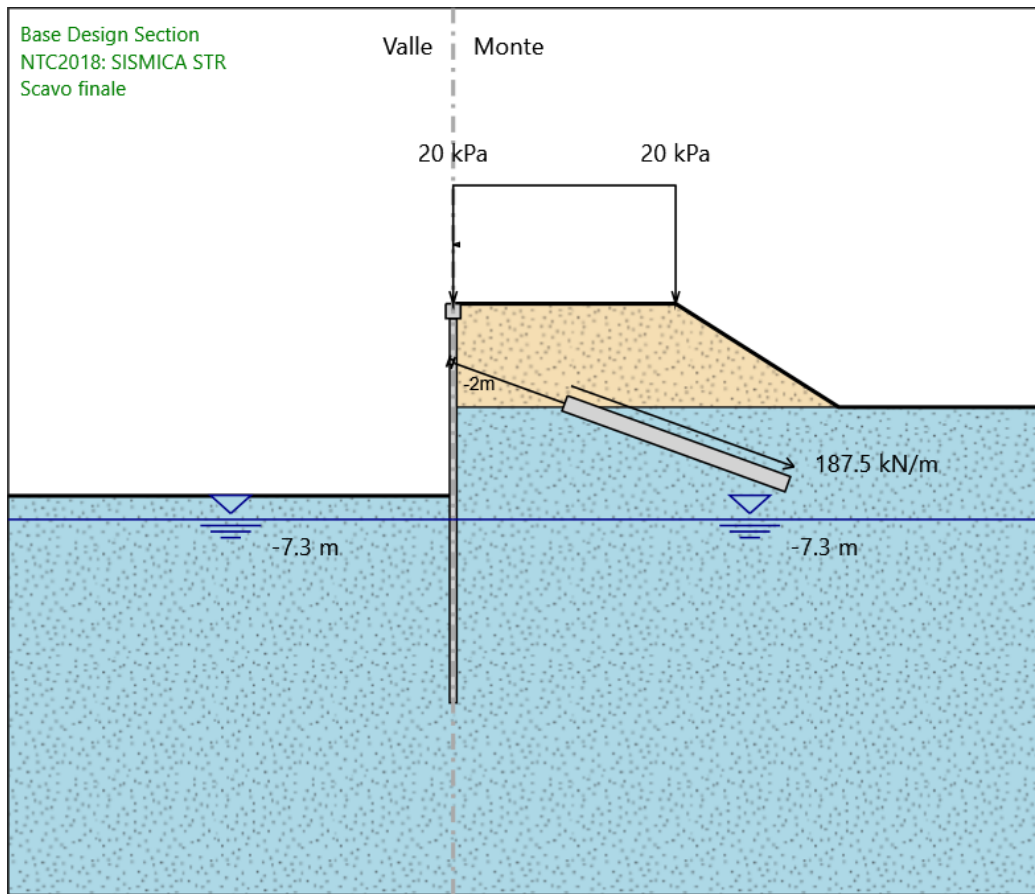


Figura 7-5. Fase 5 – Scavo finale

**FASE 6**

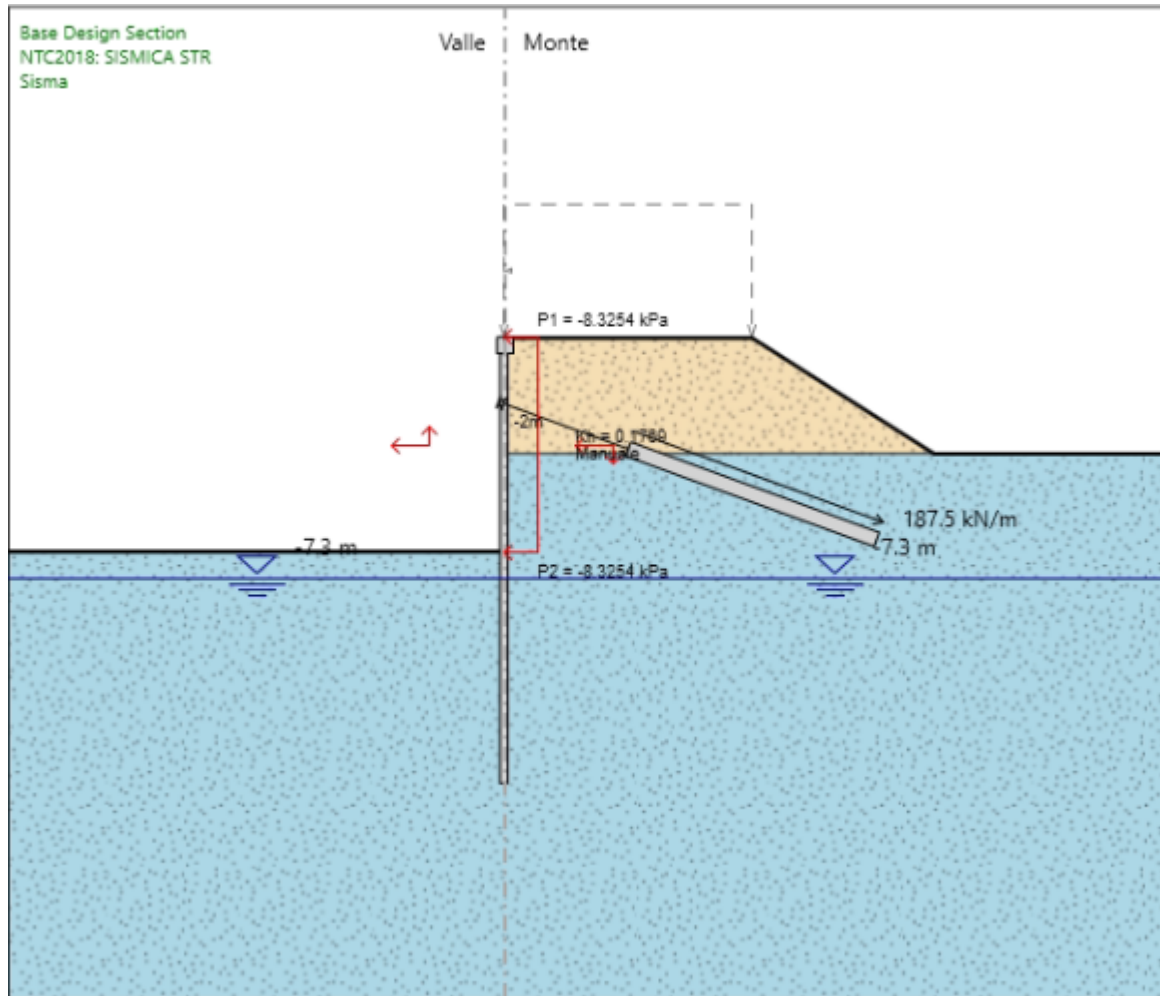


Figura 7-6. Fase 7 – Applicazione dell'azione sismica allo SLV

## 8 ANALISI DEI CARICHI

### 8.1 Peso proprio della struttura

Il peso proprio degli elementi strutturali viene calcolato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dai software di calcolo in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

### 8.2 Spinta delle terre

L'entità della spinta delle terre sull'opera di scavalco è determinata fase per fase dal software di calcolo, a partire da condizioni iniziali di spinta a riposo.

### 8.3 Carichi accidentali da traffico

Si è considerato un carico accidentale da traffico dovuto alla viabilità esistente a monte della paratia pari a  $20 \text{ kN/m}^2$ .

### 8.4 Azioni sismiche

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri riportati al Capitolo 6 della presente relazione.

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

In base alle accelerazioni massime attese sul sito in esame si valutano, alla luce dei parametri valutati sopra nella condizione di SLV., i coefficienti di intensità sismica da utilizzarsi nelle analisi pseudo statiche, con le espressioni che seguono.

$$k_h = a_g / g \cdot S_S \cdot S_T \cdot \alpha \cdot \beta \qquad k_v = 0.5 \cdot k_h$$

Nella precedente espressione, i coefficienti  $\beta$  e  $\alpha$  assumono i valori desunti dalle Figg. 7.11.2 e 7.11.3 delle NTC.



**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

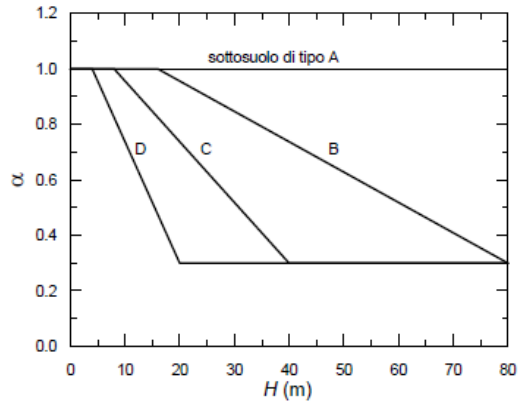


Fig. 7.11.2 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

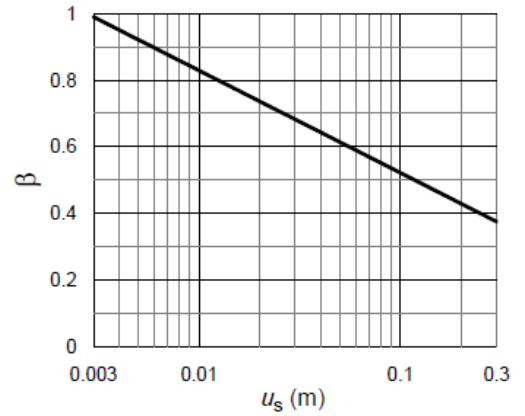


Fig. 7.11.3 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$ .

## 9 CRITERI DI VERIFICA

Le verifiche strutturali e geotecniche dei micropali e dei tiranti sono eseguite tramite PARATIE PLUS.

## 10 SINTESI RISULTATI

Di seguito si riportano in forma grafica gli andamenti ed i valori delle sollecitazioni derivanti dal modello di calcolo:

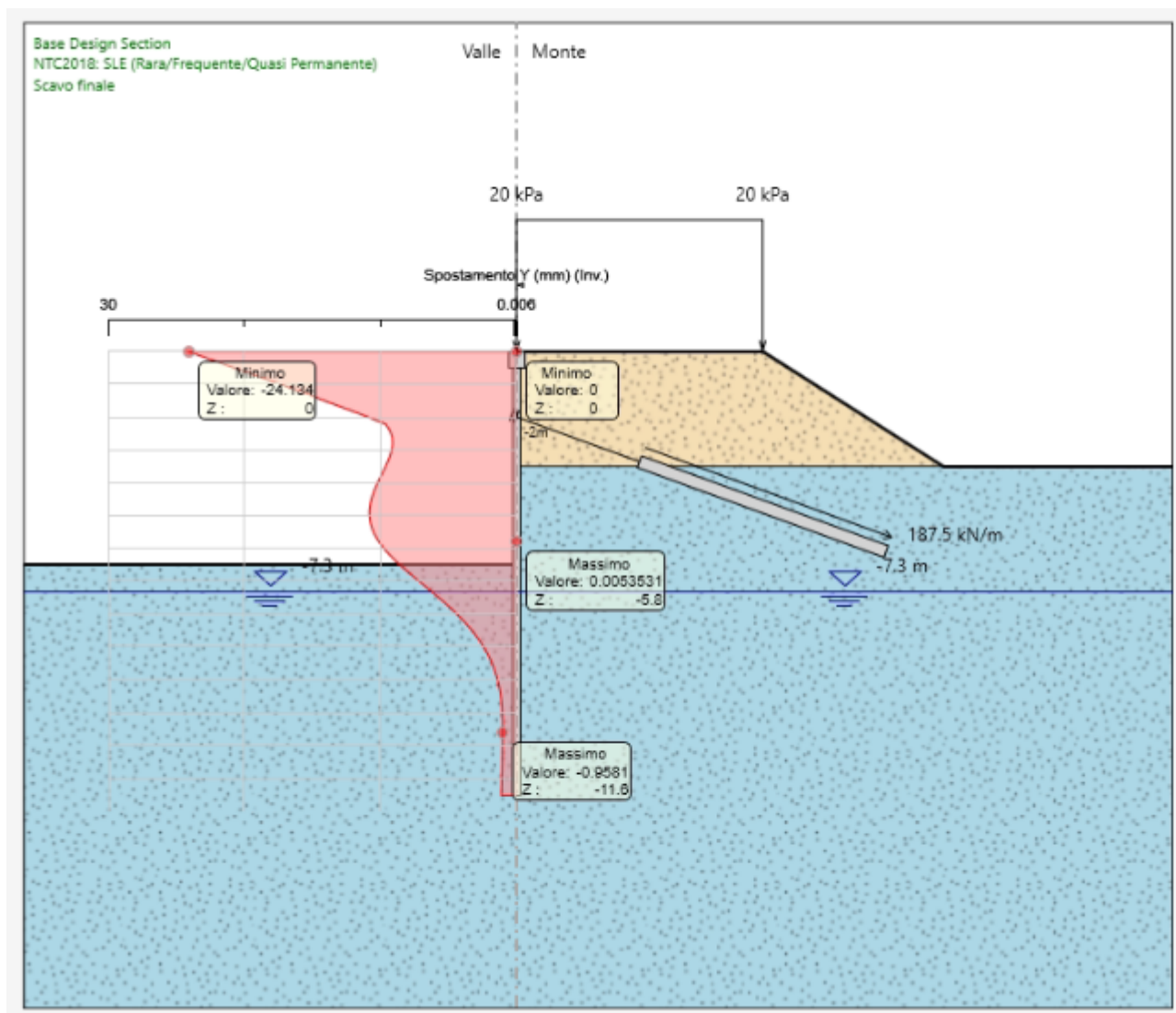


Figura 10-1. Deformate delle paratie allo SLE (valore massimo = 24.13 mm)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

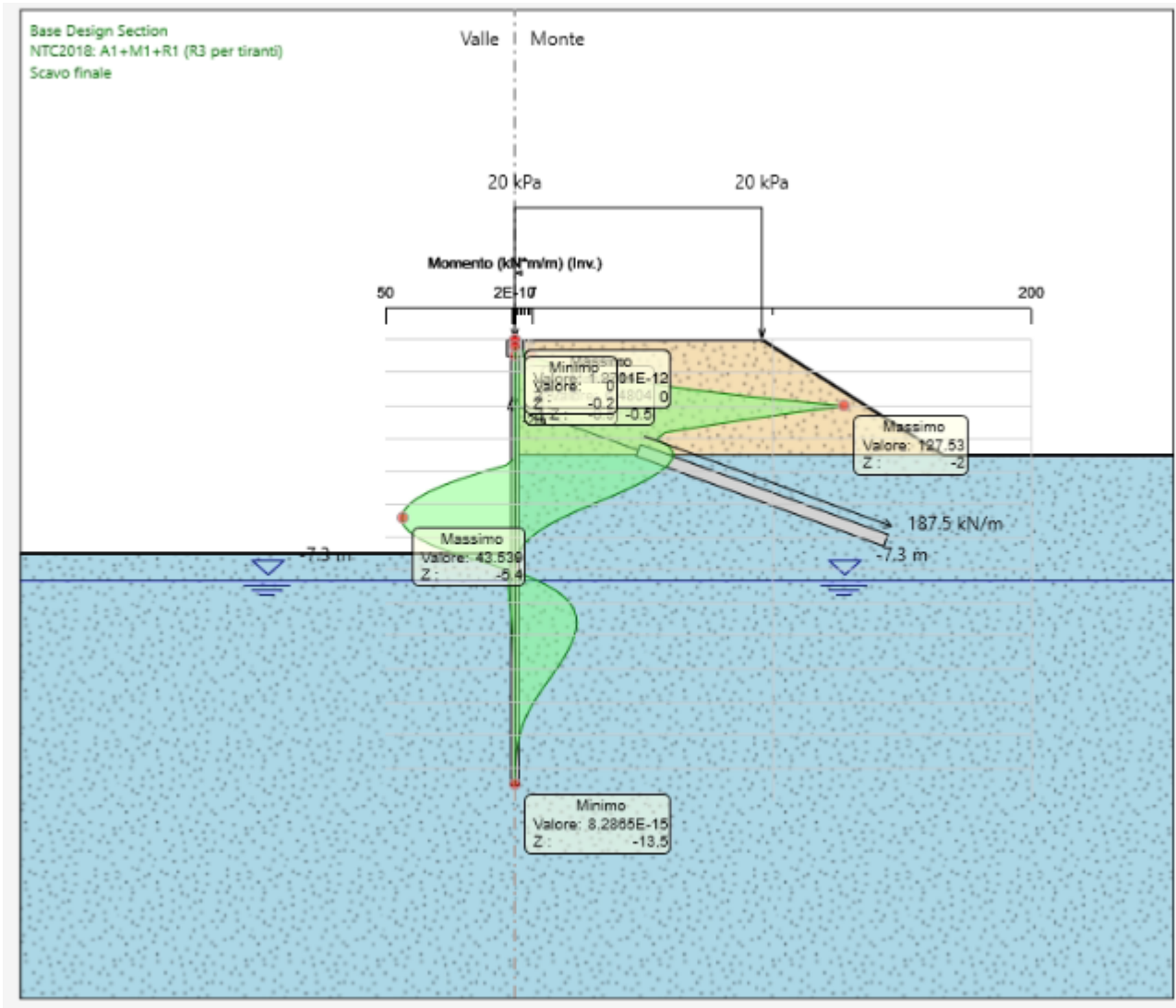


Figura 10-2. Momenti flettenti sulle paratie allo SLU (condizioni statiche) (valore massimo = 127.53 kNm/m)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

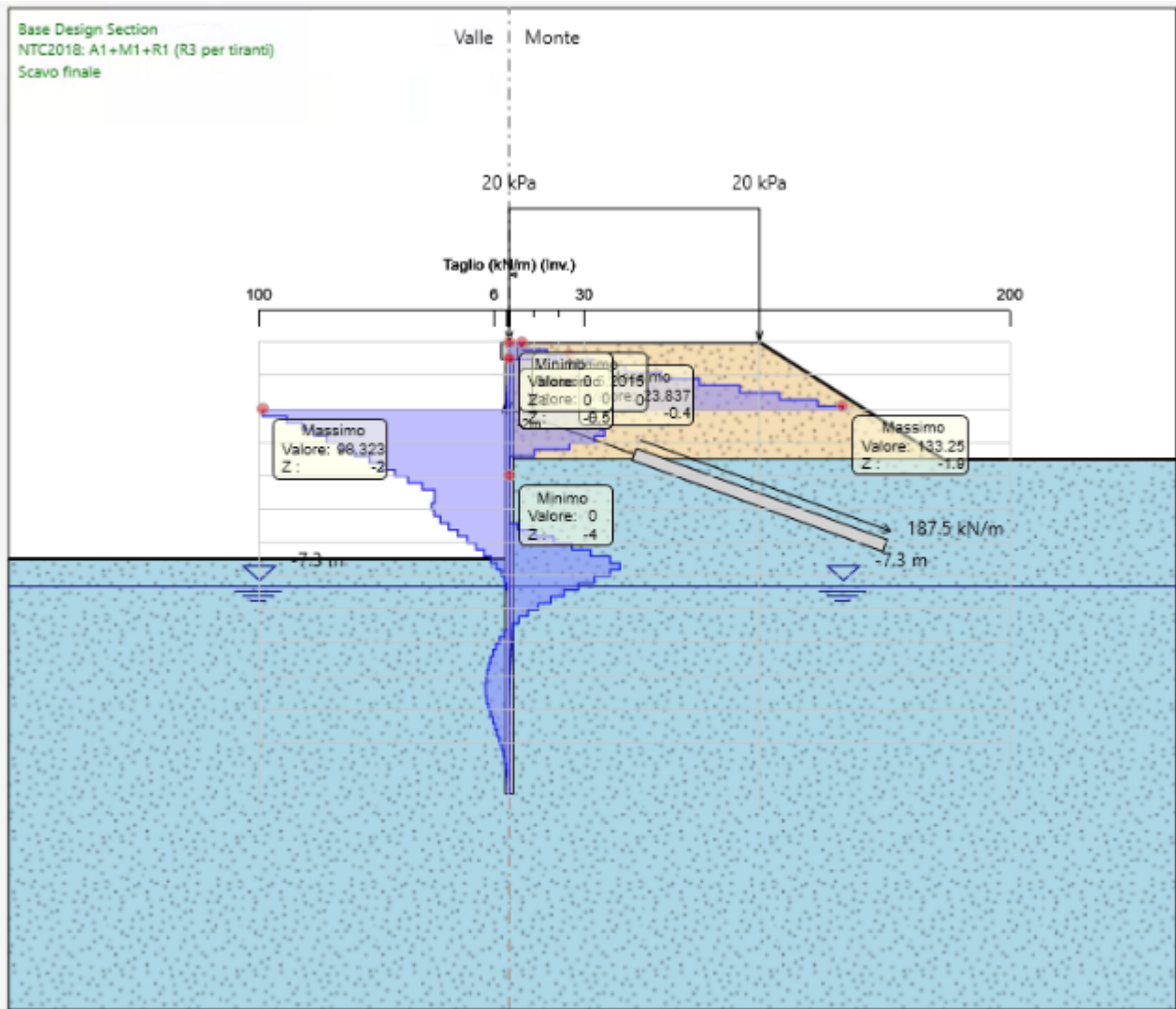


Figura 10-3. Forze di taglio sulle paratie allo SLU (condizioni statiche) (valore massimo = 133.25 kN/m)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

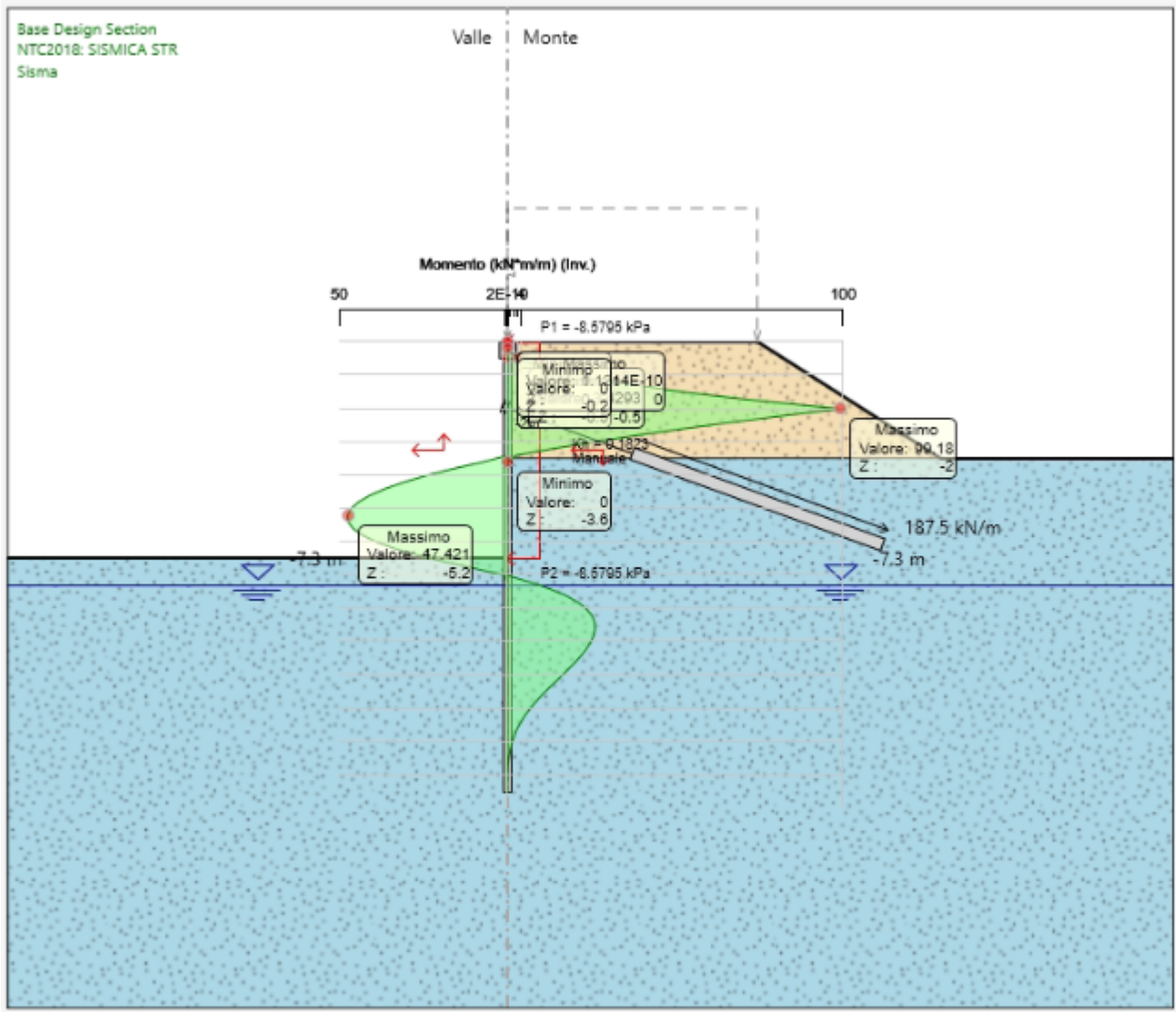


Figura 10-4. Momenti flettenti sulle paratie allo SLV (valore massimo = 99.18 kNm/m)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

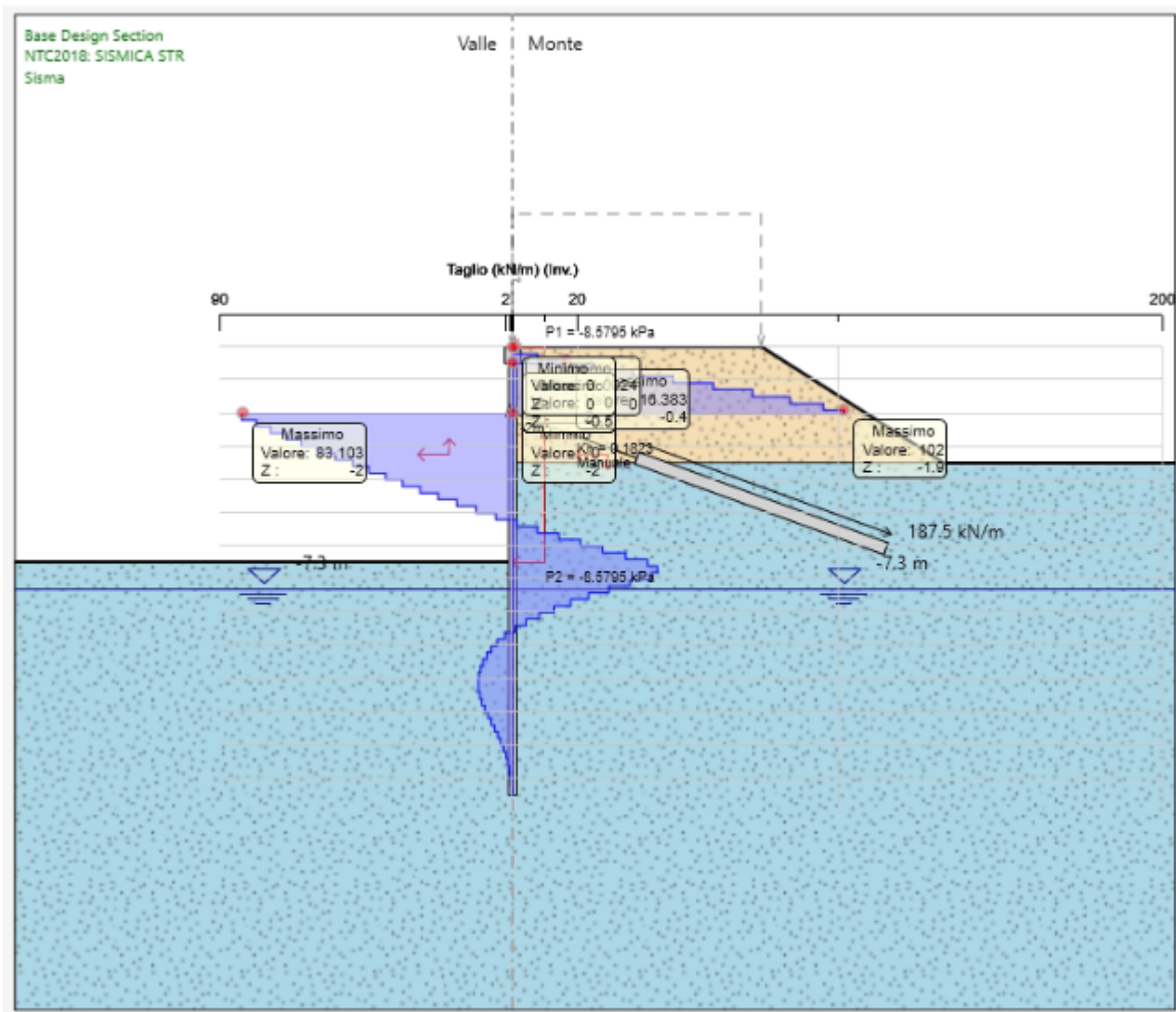
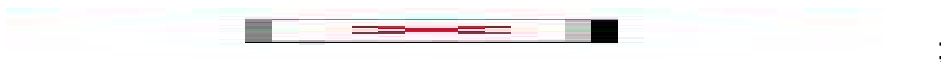


Figura 10-5. Forze di taglio sulle paratie allo SLV (valore massimo = 102.00 kN/m)

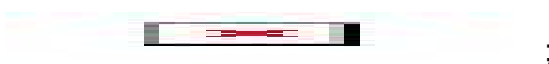
## 11 COMBINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC-2018 al par.2.5.3:

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



Combinazione caratteristica rara, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche delle tensioni d'esercizio:



Combinazione caratteristica frequente, impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:



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



Combinazione sismica:

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

Per le verifiche SLU si adottano i valori dei coefficienti parziali riportati nella seguente tabella.



Tab. 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		$\gamma_F$			
Carichi permanenti $G_1$	Favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Nella Tab. 2.6.I il significato dei simboli è il seguente:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti  $G_1$ ;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali  $G_2$ ;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili Q.

## 12 VERIFICHE STRUTTURALI

Di seguito si descrivono le verifiche strutturali svolte su ciascuno degli elementi:

### 12.1 Micropali in acciaio

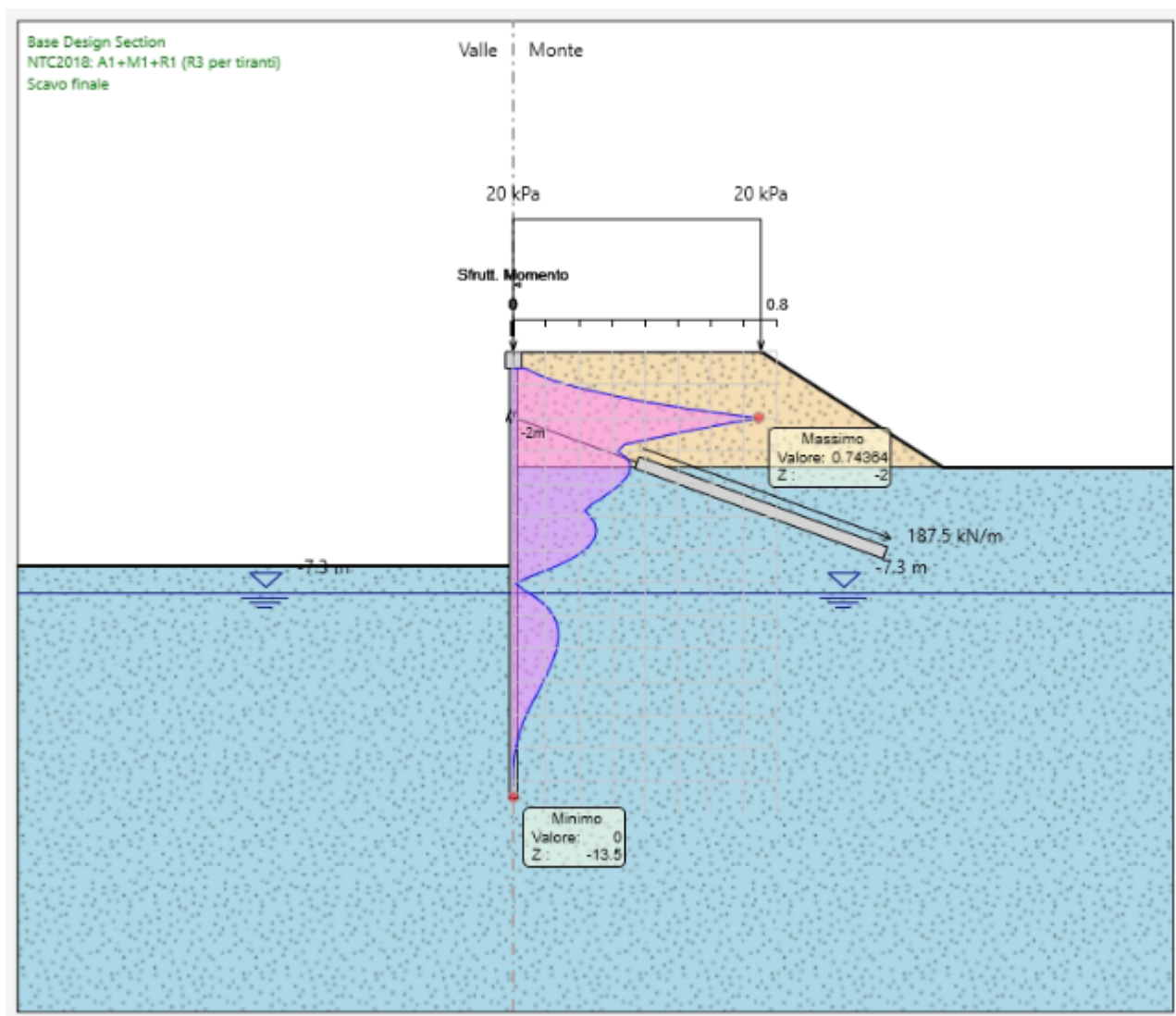


Figura 11-1. Tasso di sfruttamento Momento SLU (valore massimo = 0.74)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

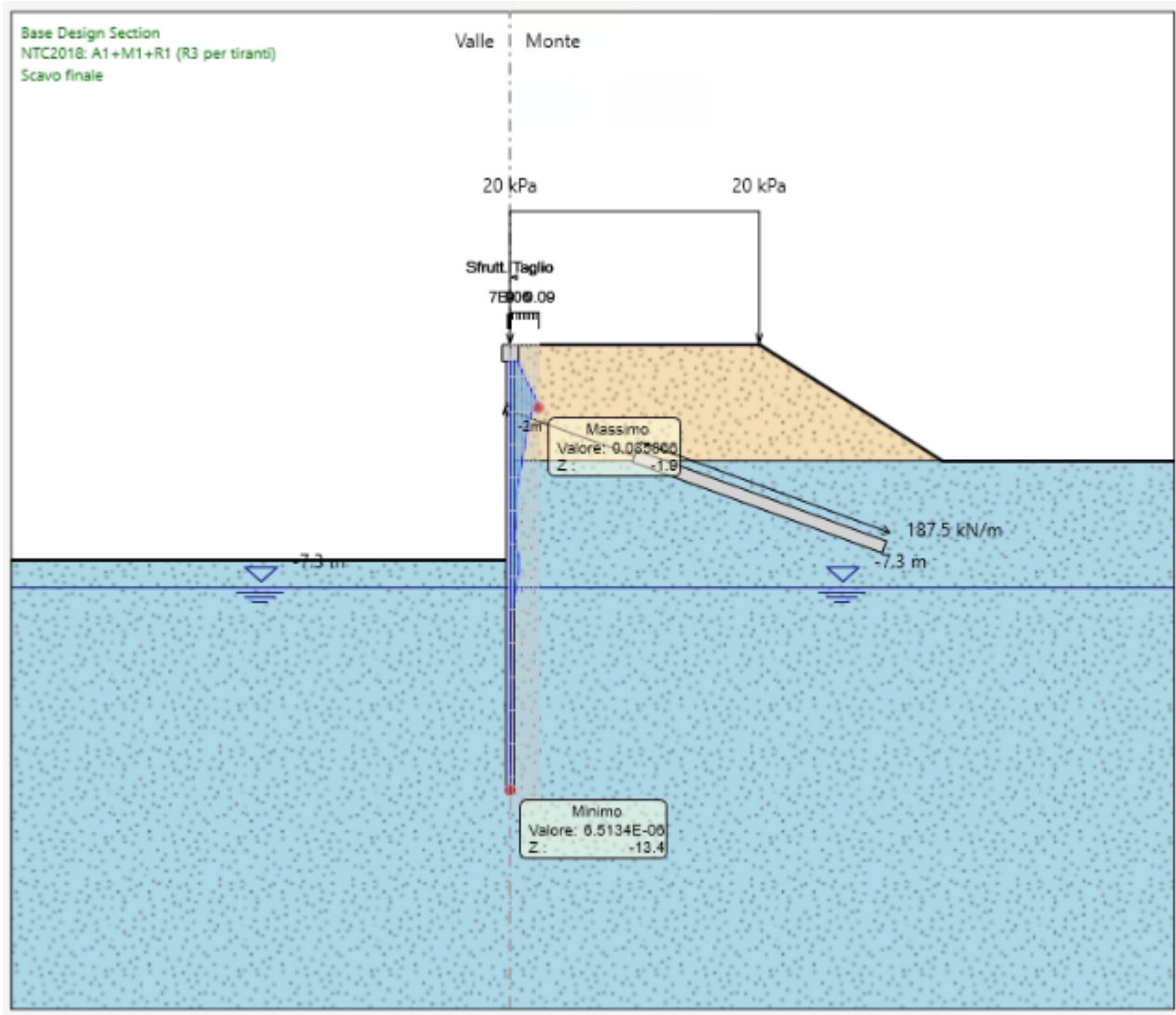


Figura 11-2. Tasso di sfruttamento Taglio SLU (valore *massimo* = 0.09)

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

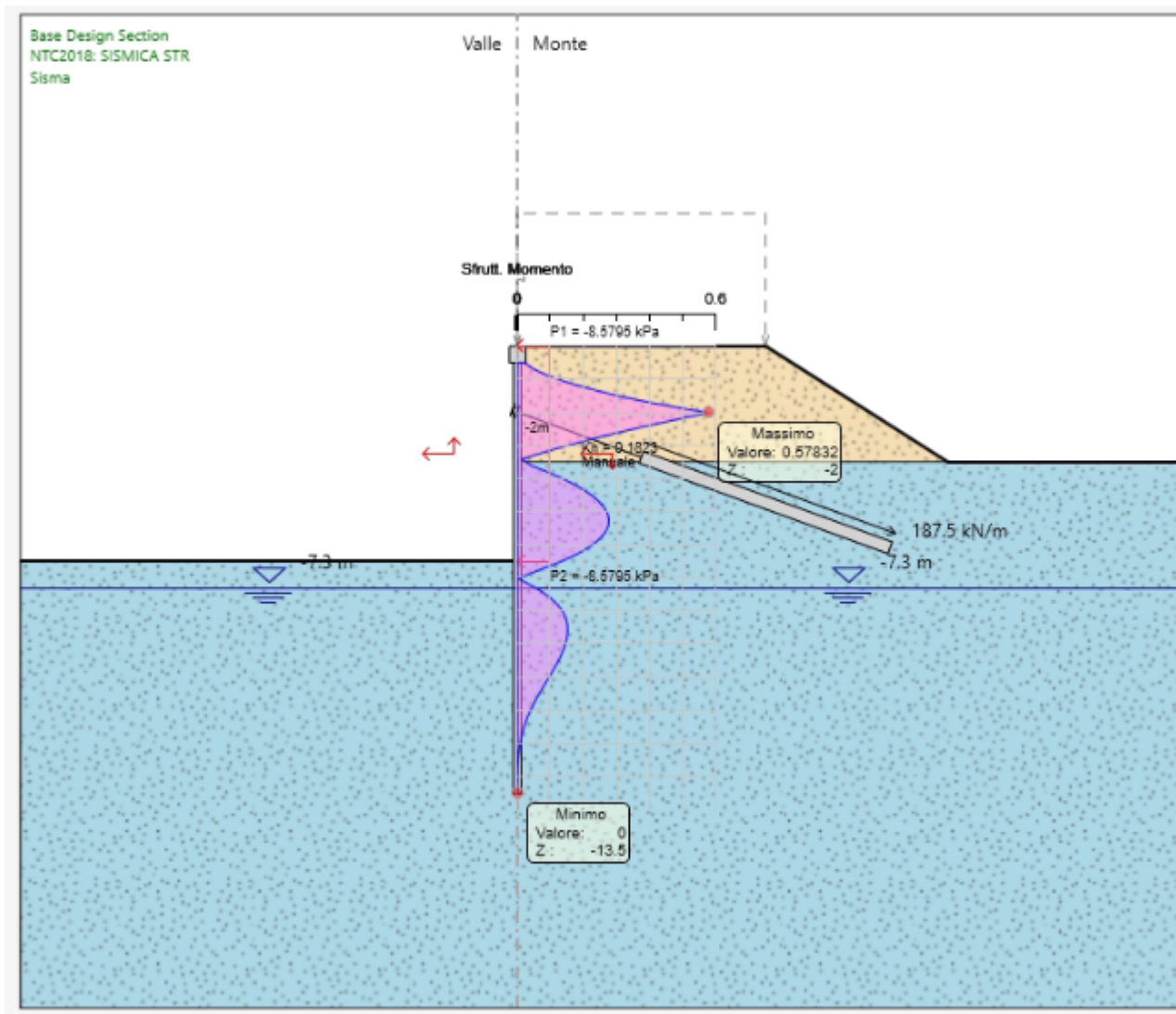


Figura 11-3. Tasso di sfruttamento Momento SLV (valore massimo = 0.58)

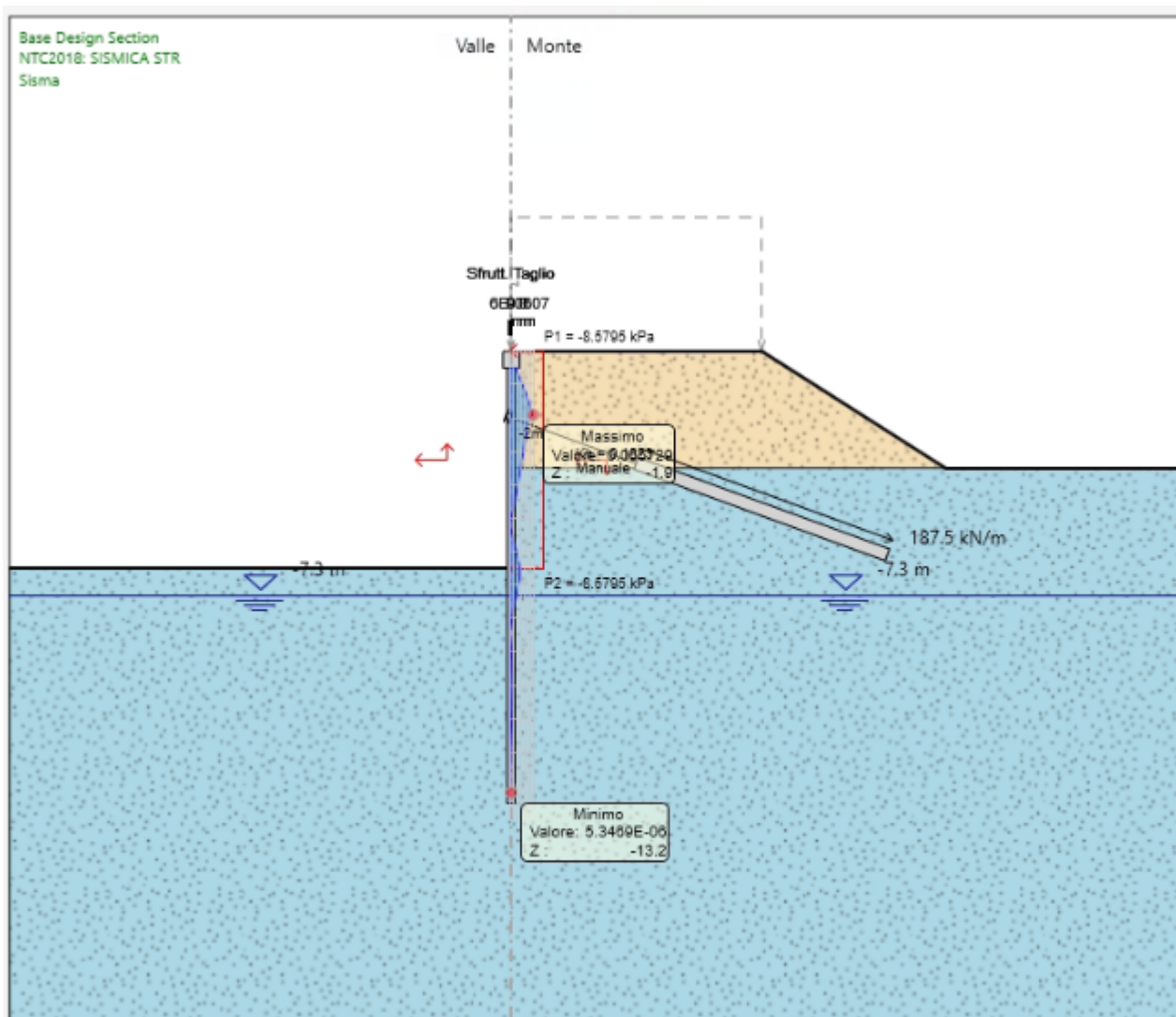
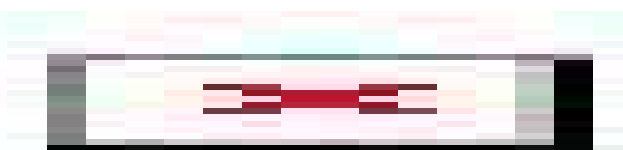


Figura 11-4. Tasso di sfruttamento Taglio SLV (valore massimo = 0.07)

In figura 10.1 della presente relazione è riportato il diagramma degli spostamenti laterali allo SLE dal quale si evince uno spostamento massimo in testa al micropalo pari a 24.13mm. Di seguito si riporta la verifica dello spostamento massimo ammissibile del micropalo:



## 12.2 Tiranti di ancoraggio

Di seguito si riportano in forma tabellare le verifiche GEO e STR dei tiranti di ancoraggio:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	390	456.96	605.56	0.853	0.644	✓	✓
Tieback	Scavo finale	410.41	456.96	605.56	0.898	0.678	✓	✓
Tieback	Sisma	406.82	456.96	605.56	0.89	0.672	✓	✓

Design Assumption: NTC2018: SISMICA STR

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	300	456.96	605.56	0.657	0.495	✓	✓
Tieback	Scavo finale	314.34	456.96	605.56	0.688	0.519	✓	✓
Tieback	Sisma	324.59	456.96	605.56	0.71	0.536	✓	✓

### 12.2.1.1 Verifica a trazione dell'armatura

La resistenza caratteristica della sezione in acciaio è calcolata secondo la relazione:

$$R_{a,k} = f_{p(1)k} \cdot A_s$$

dove:

- $A_s = n \cdot A_t$  area della sezione di armatura;
- $A_t$  area del singolo trefolo;
- $n$  numero di trefoli;
- $f_{p(1)k}$  tensione caratteristica all'1% di deformazione totale.

La resistenza di progetto risulterà quindi:

$$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_s$$

con  $\gamma_s = 1.15$ , coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio.

Pertanto:

$$R_{a,k} = 1670 \text{ N/mm}^2 \times 3 \times 139 \text{ mm}^2 = 696.39 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} = 696.39 \text{ kN} / 1.15 = 605.56 \text{ kN}$$

La sollecitazione massima agente sul tirante è pari a 410.41 kN, pertanto la verifica risulta soddisfatta con FS = 1.48.

### 12.2.1.2 Verifica a sfilamento del bulbo di ancoraggio

La resistenza di calcolo allo sfilamento dell'ancoraggio è stata valutata attraverso la formulazione di Bustamante e Doix (1985):

$$R_{cal} = \pi \cdot D_s \cdot L_s \cdot t$$

in cui:

- $D_s = \alpha D$  dove  $D$  è il diametro di perforazione e  $\alpha$  un coefficiente maggiorativo che tiene conto della tipologia di terreno e del metodo di iniezione;
- $L_s$  è la lunghezza del bulbo;
- $t$  è la resistenza tangenziale.

Si assume per l'unità geologica ALL, cautelativamente, un valore di  $\alpha$  pari a 1.2 e un valore di  $t$  pari a 150 kPa.

Il valore caratteristico della resistenza  $R_{a,k}$  è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alla resistenza calcolata  $R_{cal}$  i fattori di correlazione  $\chi_a$  riportati nella Tabella 6.6. Il delle *NTC2018*, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine. È stato assunto un fattore  $\chi_{a3}$  pari a 1.8:

$$R_{a,k} = \min \left[ (R_{a,c})_{media} / \chi_{a3}; (R_{a,c})_{min} / \chi_{a4} \right]$$



Il valore di progetto  $R_{a,d}$  della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico applicando il coefficiente parziale  $\gamma_{Ra} = 1.1$ , previsto per ancoraggi provvisionali, come indicato nella Tabella 6.6.I delle *NTC2018*.



Pertanto:

$$R_{cal} = \pi (1.2 \times 0.20\text{m}) \times 8.0\text{m} \times 150\text{kPa} = 904.32 \text{ kN}$$

$$R_{a,k} = 904.32 \text{ kN} / 1.8 = 502.40 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} = 502.40 \text{ kN} / 1.1 = 456.73 \text{ kN}$$

La sollecitazione massima agente sul tirante è pari a 410.41 kN, pertanto la verifica risulta soddisfatta con  $FS = 1.11$ .

### 12.2.1.3 Verifica aderenza malta

Per eseguire la verifica in questione, è stato utilizzato l'applicativo della "Geostru".

Di seguito, si riportano i dati di input e l'esito della verifica.

## DATI GENERALI

vers 3.1 (27/11/2017)

Metodo di calcolo

Schneebeli  Bustamante Doix

Descrizione

Gli ancoraggi sono elementi strutturali opportunamente collegati al terreno, in grado di sostenere forze di trazione.

## NORMATIVA

NTC (A1+M1+R3)

Ancoraggi temporanei

1.10

Ancoraggi permanenti

1.20

Lunghezza della zona ancorata

$L_a$  8 m

### Resistenza di aderenza della malta al foro

Tensione di aderenza (valori indicativi riportati in tabella)

$\tau$  0.6 MPa

TERRENO	Tensione di aderenza unitaria malta-terreno [Mpa]	
	min	max
<b>ROCCIA</b>		
✓ Basalto	5.50	6.00
✓ Calcare	2.80	4.80
✓ Arenaria	1.50	1.70
✓ Dolomite	1.70	1.90
✓ Scisti	0.50	0.70
✓ Scisti alterati	0.30	0.50
✓ Gesso	0.60	0.80
✓ Ardesia	1.60	1.80
<b>SCIOLTO</b>		
✓ Limi argillosi	0.06	0.09
✓ Argilla saturo	0.05	0.08
✓ Argilla sabbiosa compatta	0.20	0.40
✓ Sabbia medio fine compatta	0.20	0.60
✓ Argilla medio plastica dura	0.20	0.50
✓ Argilla medio plastica media	0.16	0.29
✓ Sabbia grossa e ghiaia compatta	0.29	0.60

E. Segre, "Proposta di metodo di prove semplici per tiranti di ancoraggio" (Industria Italiana del Cemento 6/88)



**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

Verifica dell'aderenza acciaio-malta d'iniezione

La = 800.00 >= 1.31 (cm) - **Soddisfatta**

Verifica dell'aderenza malta-guaina corrugata

La = 800.00 >= 1.27 (cm) - **Soddisfatta**

Verifica dell'aderenza della malta al foro

La = 800.00 >= 11.14 (cm) - **Soddisfatta**

### 12.3 Trave di ripartizione

Di seguito si riportano in forma tabellare le verifiche strutturali della trave di ripartizione:

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento M-N	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: A1+M1+R1	Realizzazione ti	243.75	0	0.195	0.342	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: A1+M1+R1	Scavo finale	256.54	0	0.205	0.36	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: A1+M1+R1	Sisma	254.29	0	0.203	0.357	0

Design Assumption: NTC2018: SISMICA STR

Trave di Ripartizione	Connessione	Sezione	Materiale	Passo orizz. (m)	D.A.	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Azione Assiale (kN)	Sfruttamento M-N	Sfruttamento Taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: SISMICA STR	Realizzazione ti	187.5	0	0.15	0.263	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: SISMICA STR	Scavo finale	196.48	0	0.157	0.276	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	1.6	NTC2018: SISMICA STR	Sisma	202.91	0	0.162	0.285	0

### 13 VERIFICHE GEOTECNICHE

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche di tipo geotecnico sui micropali, ovvero la resistenza passiva mobilitata a valle della paratia.

Il grado di mobilitazione della resistenza passiva a valle dei micropali risulta pari a circa il 27%.

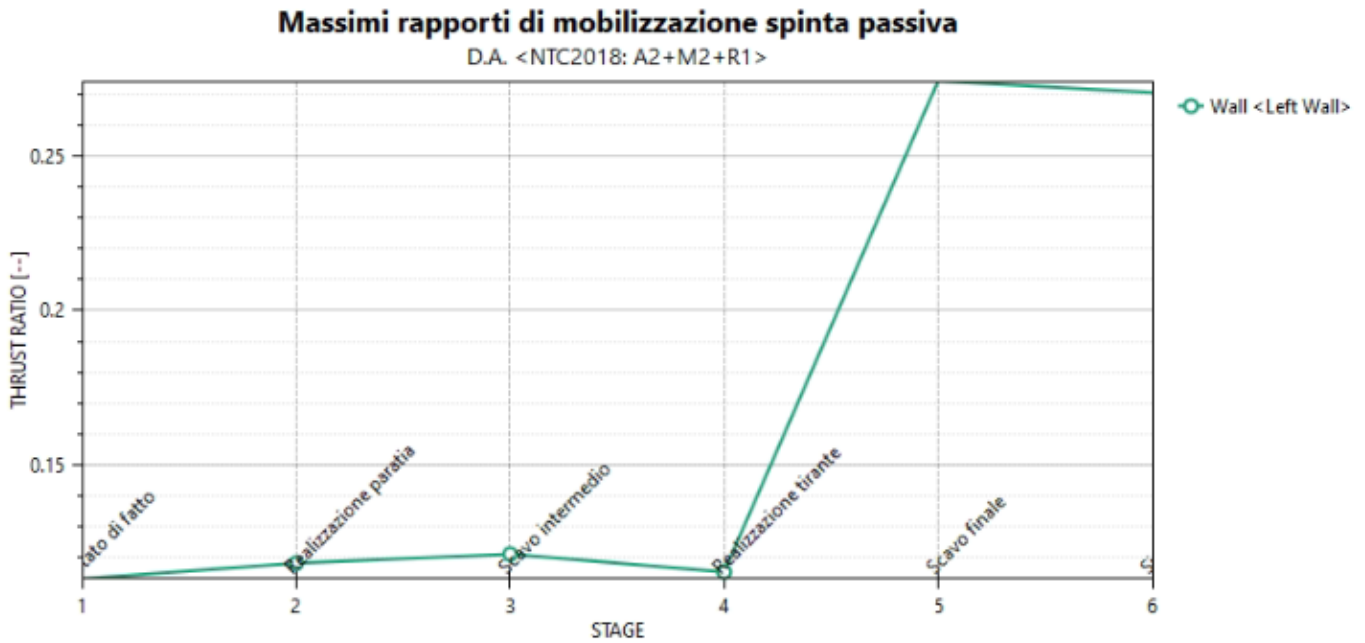


Figura 13-1. Diagramma mobilitazione spinta passiva

## 14 TABULATO PARATIE PLUS

### *Descrizione della Stratigrafia e degli Strati di Terreno*

Tipo : HORIZONTAL  
Quota : 0 m  
OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL  
Quota : -3.5 m  
OCR : 1

## **Descrizione Pareti**

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Muro di sinistra

X : 0 m

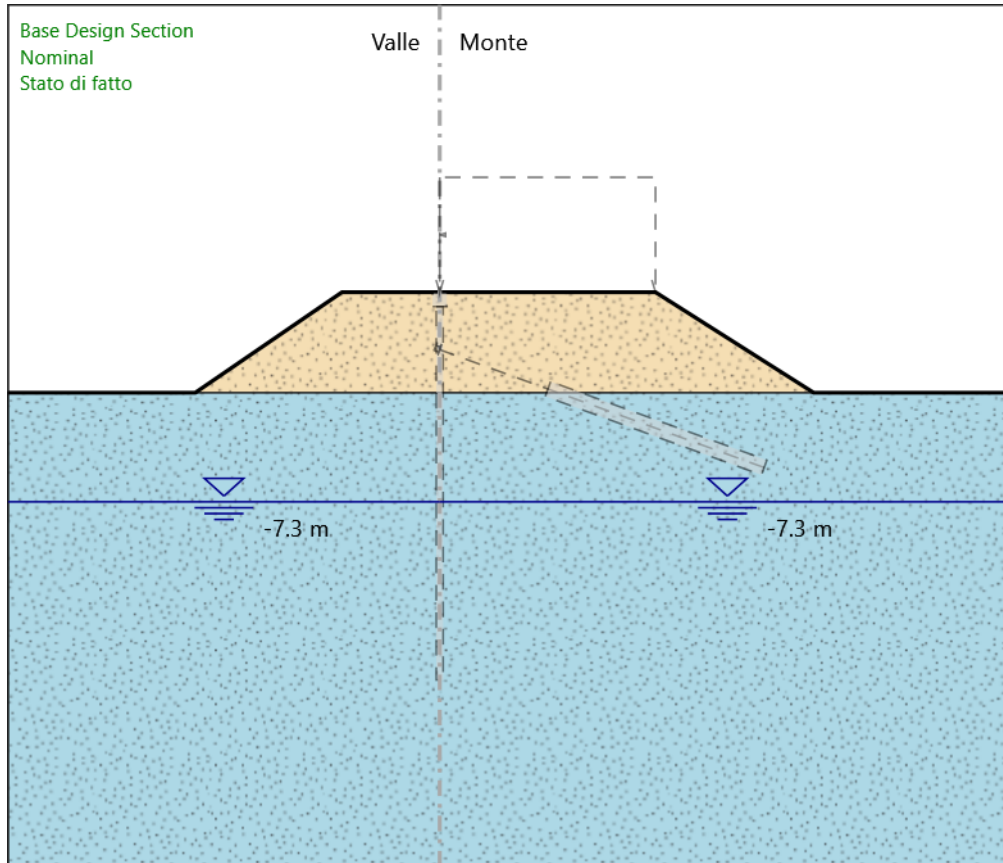
Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

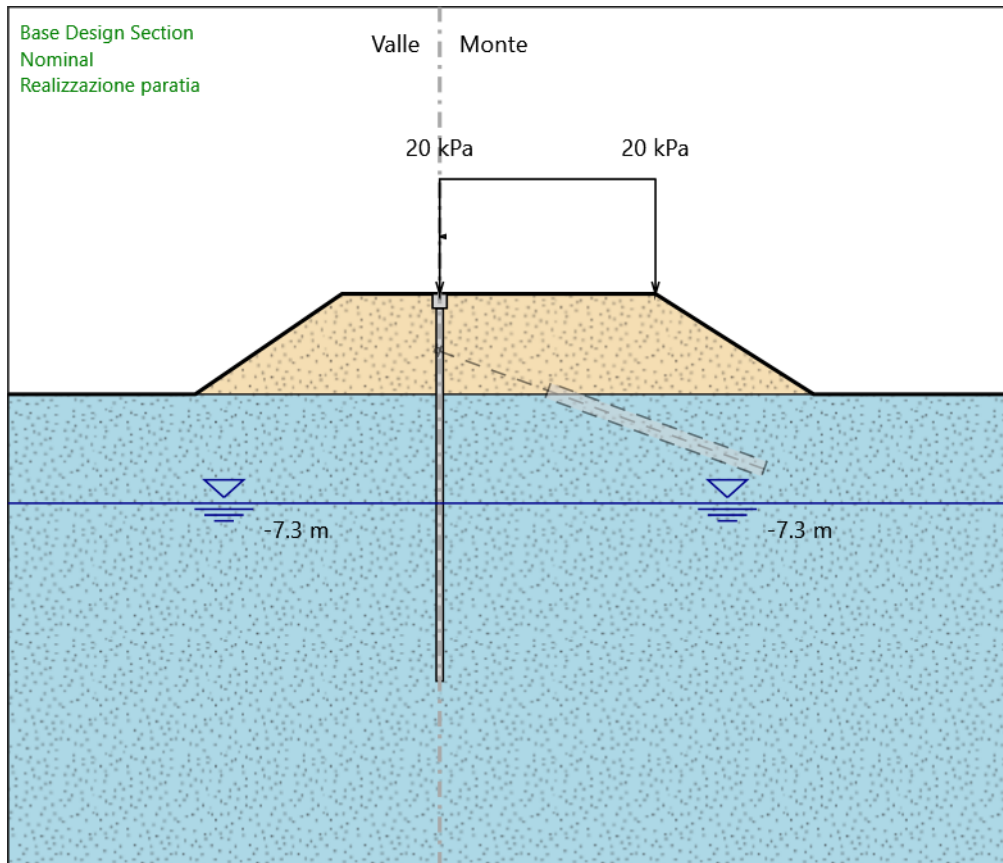
Muro di sinistra

## Fasi di Calcolo

### Stato di fatto



## Realizzazione paratia



## Realizzazione paratia

### Elementi strutturali

Paratia : micropalo

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Sezione : MICROPALO

Paratia : cordolo

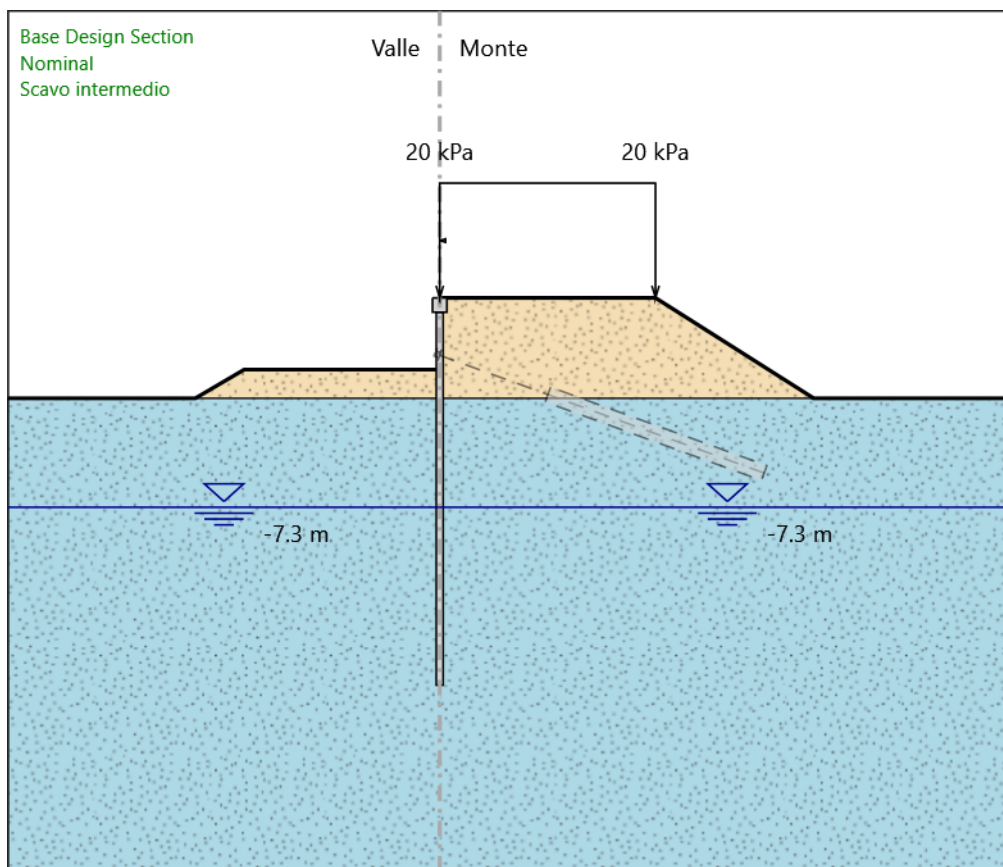
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

Sezione : CORDOLO

## Scavo intermedio



## Scavo intermedio

### Elementi strutturali

Paratia : micropalo

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Sezione : MICROPALO

Paratia : cordolo

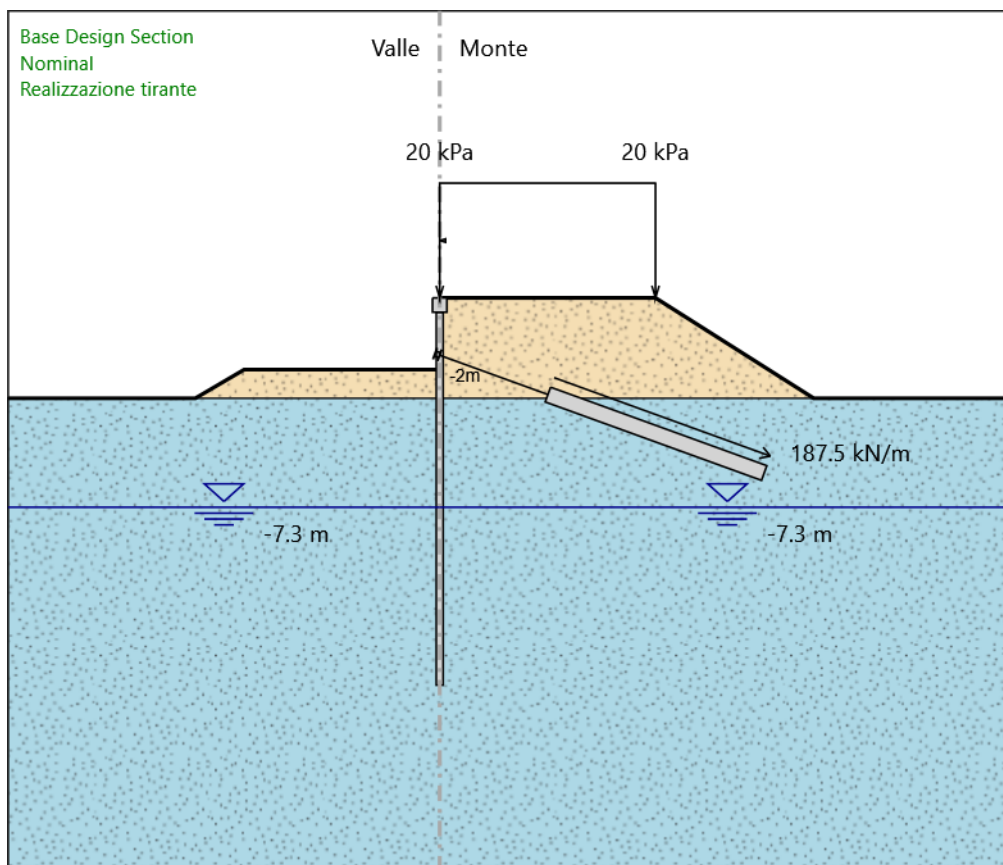
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

Sezione : CORDOLO

## Realizzazione tirante



## Realizzazione tirante

### Elementi strutturali

Paratia : micropalo

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Sezione : MICROPALO

Paratia : cordolo

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

Sezione : CORDOLO

Tirante : Tieback

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 8 m



**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

Diametro bulbo : 0.2 m

Lunghezza libera : 4 m

Spaziatura orizzontale : 1.6 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 160 °

Sezione : #3STRANDS

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m<sup>2</sup>

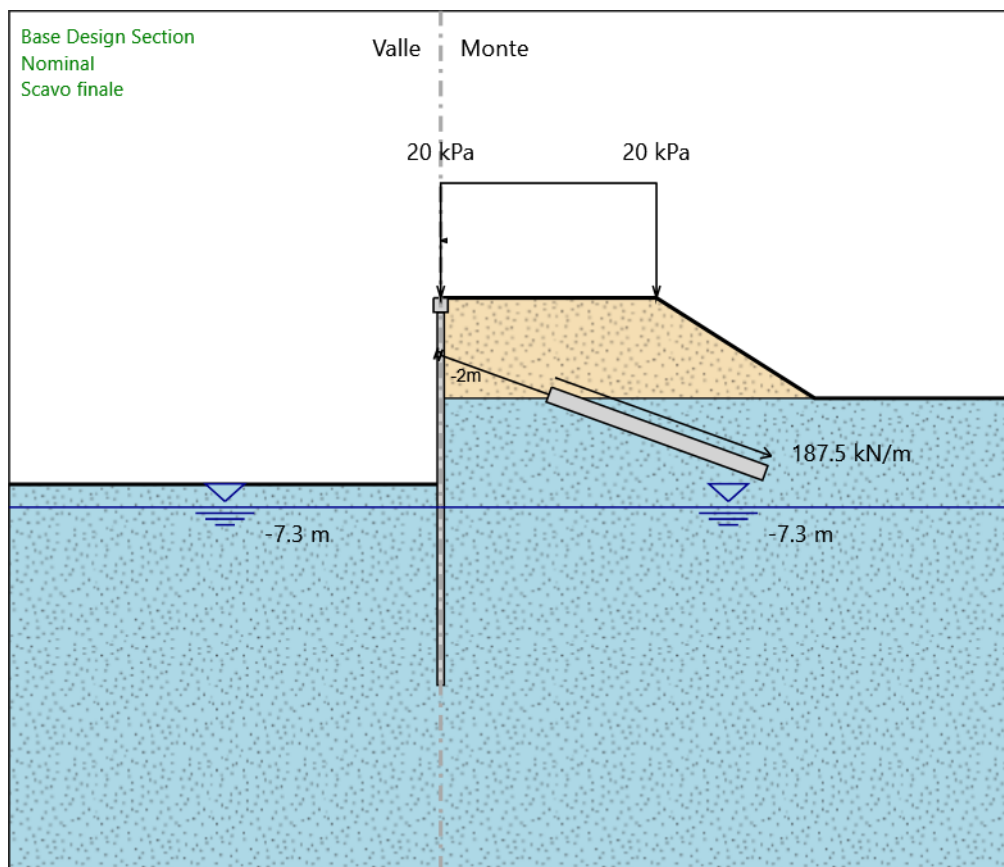
Trave di Ripartizione : Default Waler

Sezione : Waler Section 2 steel

HE 180B

Materiale : S355

## Scavo finale



## Scavo finale

### Elementi strutturali

Paratia : micropalo

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Sezione : MICROPALO

Paratia : cordolo

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

Sezione : CORDOLO

Tirante : Tieback

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 8 m

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

Diametro bulbo : 0.2 m

Lunghezza libera : 4 m

Spaziatura orizzontale : 1.6 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 160 °

Sezione : #3STRANDS

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m<sup>2</sup>

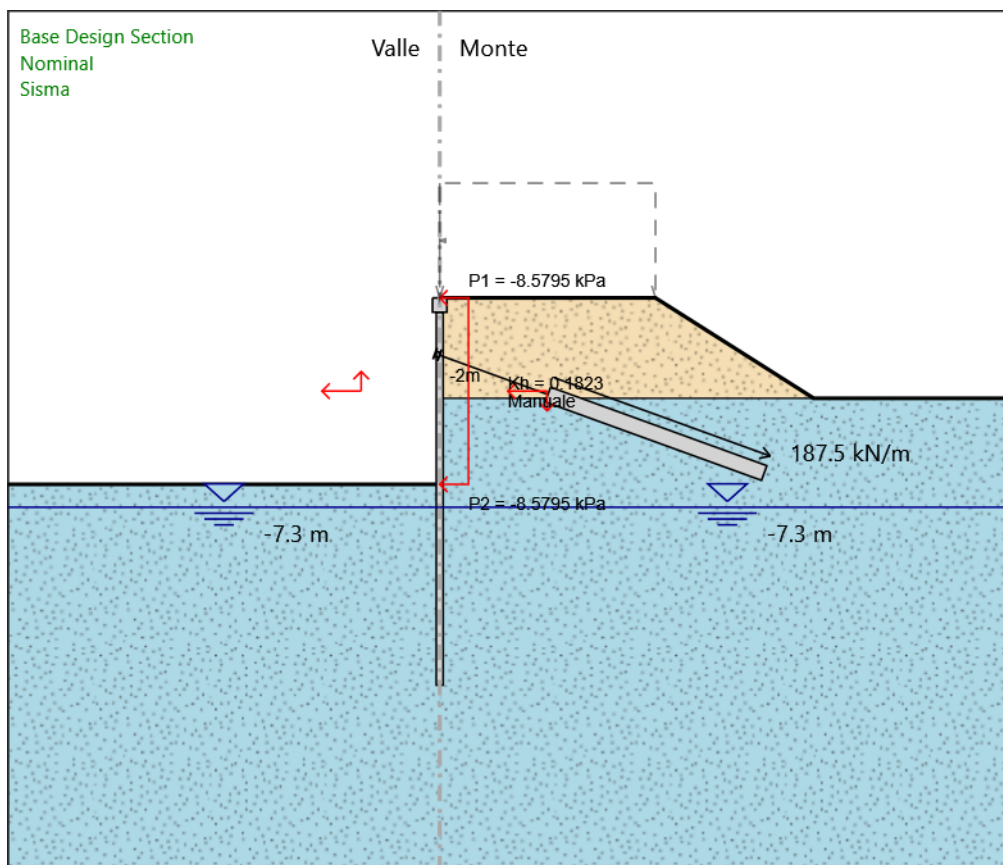
Trave di Ripartizione : Default Waler

Sezione : Waler Section 2 steel

HE 180B

Materiale : S355

## Sisma



## Sisma

### Elementi strutturali

Paratia : micropalo

X : 0 m

Quota in alto : -0.5 m

Quota di fondo : -13.5 m

Sezione : MICROPALO

Paratia : cordolo

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -0.5 m

Sezione : CORDOLO

Tirante : Tieback

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 8 m

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

Diametro bulbo : 0.2 m

Lunghezza libera : 4 m

Spaziatura orizzontale : 1.6 m

Prezarico : 300 kN

Angolo : 160 °

Sezione : #3STRANDS

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m<sup>2</sup>

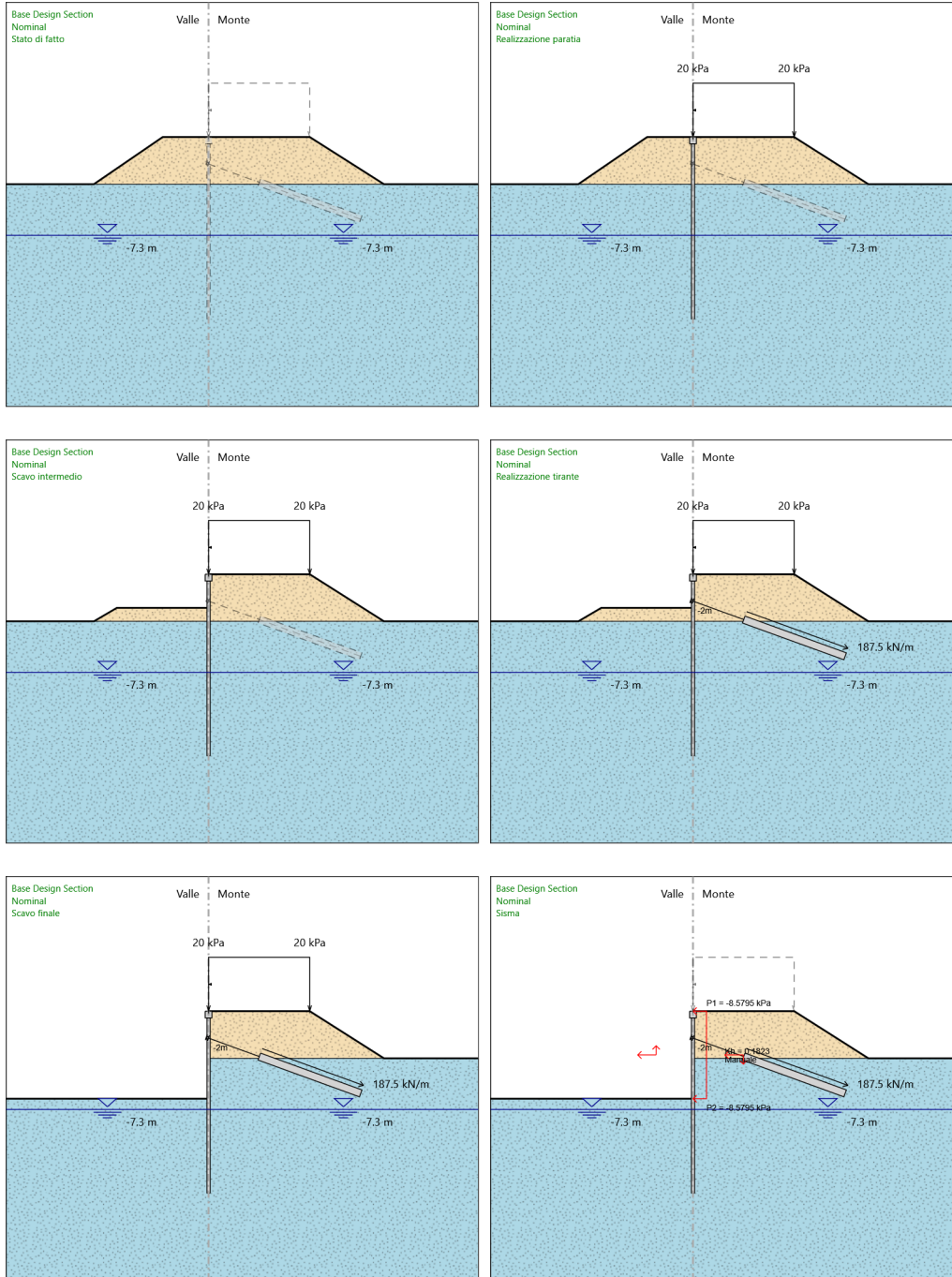
Trave di Ripartizione : Default Waler

Sezione : Waler Section 2 steel

HE 180B

Materiale : S355

### Tabella Configurazione Stage (Nominal)



## Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Permanenti Sfavorevoli (F_dead_load_unfavour)	Carichi Permanenti Favorevoli (F_dead_load_favour)	Carichi Variabili Sfavorevoli (F_live_load_unfavour)	Carichi Variabili Favorevoli (F_live_load_favour)	Carico Sismico (F_seism_load)	Pressioni Acqua Lato Monte (F_WaterDR)	Pressioni Acqua Lato Valle (F_WaterRes)	Carichi Permanenti Destabilizzanti (F_UPL_C)
Simbolo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gd}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	0	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1	1	1	1

Nome	Parziale su tan( $\phi'$ ) (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_coh)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1

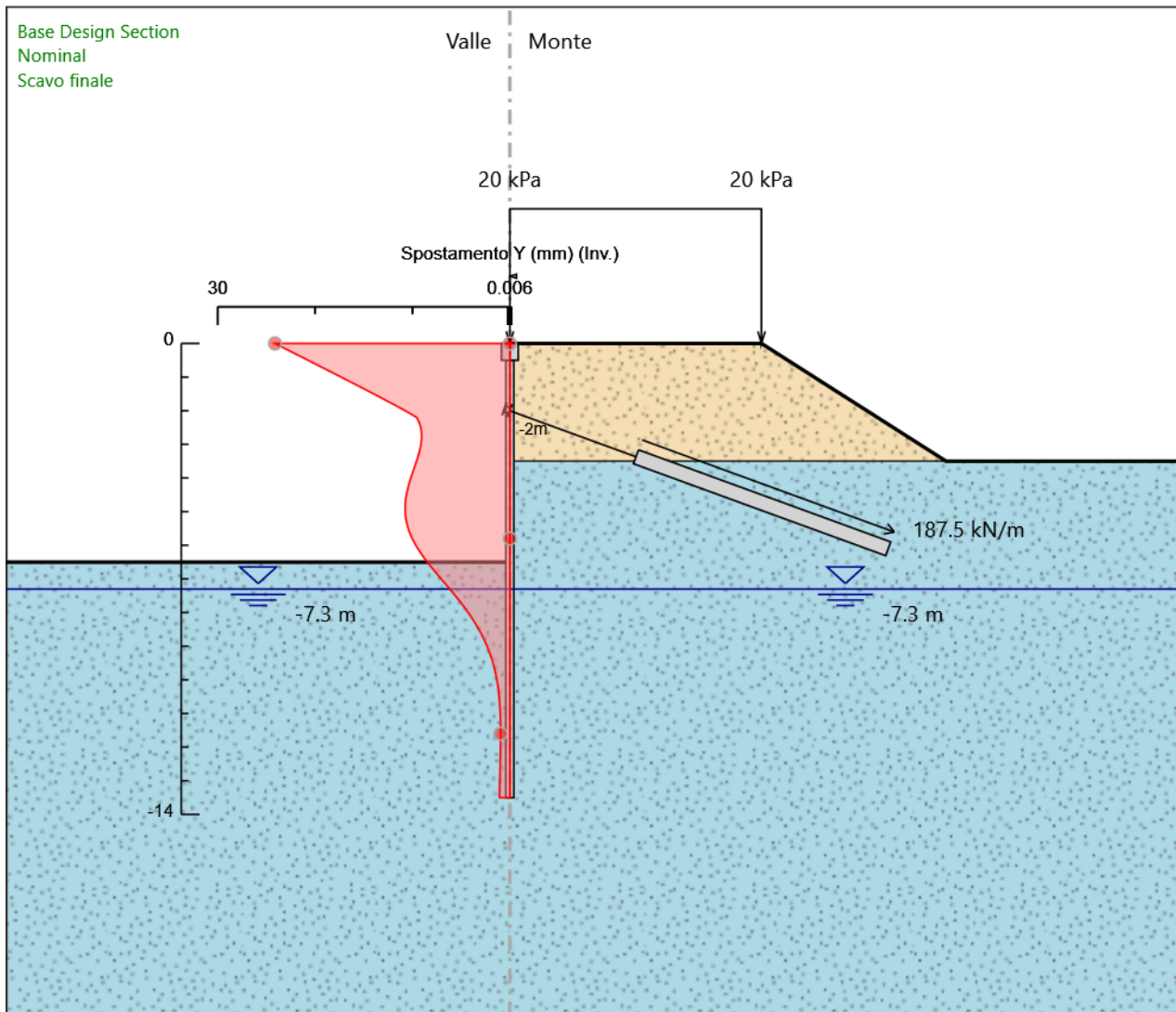
Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1.2	1.1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

## Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Stato di fatto	Realizzazione paratia	Scavo intermedio	Realizzazione tirante	Scavo finale	Sisma
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	
NTC2018: SISMICA STR						V
NTC2018: SISMICA GEO						V

## Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)

### Grafico Inviluppi Spostamento



Spostamento



## Tabella Involuppi Momento micropalo

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento Lato sinistro (kN*m/m)	Muro: micropalo Lato destro (kN*m/m)
-0.5	0	8.01
-0.7	0	15.605
-0.9	0	25.717
-1.1	0	38.328
-1.3	0	53.305
-1.5	0	70.485
-1.7	0	89.614
-1.9	0	114.217
-2	0	127.543
-2.2	0	107.876
-2.4	0	90.166
-2.6	0	73.698
-2.8	0	58.189
-3	0.026	57.533
-3.2	0.039	65.039
-3.4	0.036	71.371
-3.6	7.393	75.93
-3.8	16.181	77.287
-4	23.952	76.104
-4.2	30.673	72.962
-4.4	36.313	68.355
-4.6	40.84	62.7
-4.8	44.664	56.337
-5	47.925	49.539
-5.2	49.871	42.518
-5.4	50.458	35.479
-5.6	49.652	28.615
-5.8	47.413	22.268
-6	43.707	16.626
-6.2	38.495	11.774
-6.4	31.739	8.082
-6.6	23.403	5.136
-6.8	13.851	2.795
-7	3.854	1.02
-7.2	2.042	6.77
-7.4	2.12	14.398
-7.6	2.399	21.322
-7.8	2.564	26.647
-8	2.528	30.557
-8.2	2.356	33.228
-8.4	2.1	34.824
-8.6	1.802	35.495
-8.8	1.491	35.38
-9	1.19	34.605
-9.2	0.913	33.282
-9.4	0.669	31.508
-9.6	0.462	29.373
-9.8	0.309	26.997
-10	0.187	24.48
-10.2	0.091	21.905
-10.4	0.019	19.339
-10.6	0	16.835
-10.8	0	14.433
-11	0	12.16
-11.2	0	10.047
-11.4	0	8.127
-11.6	0	6.419
-11.8	0	4.933
-12	0	3.669
-12.2	0	2.62
-12.4	0	1.775

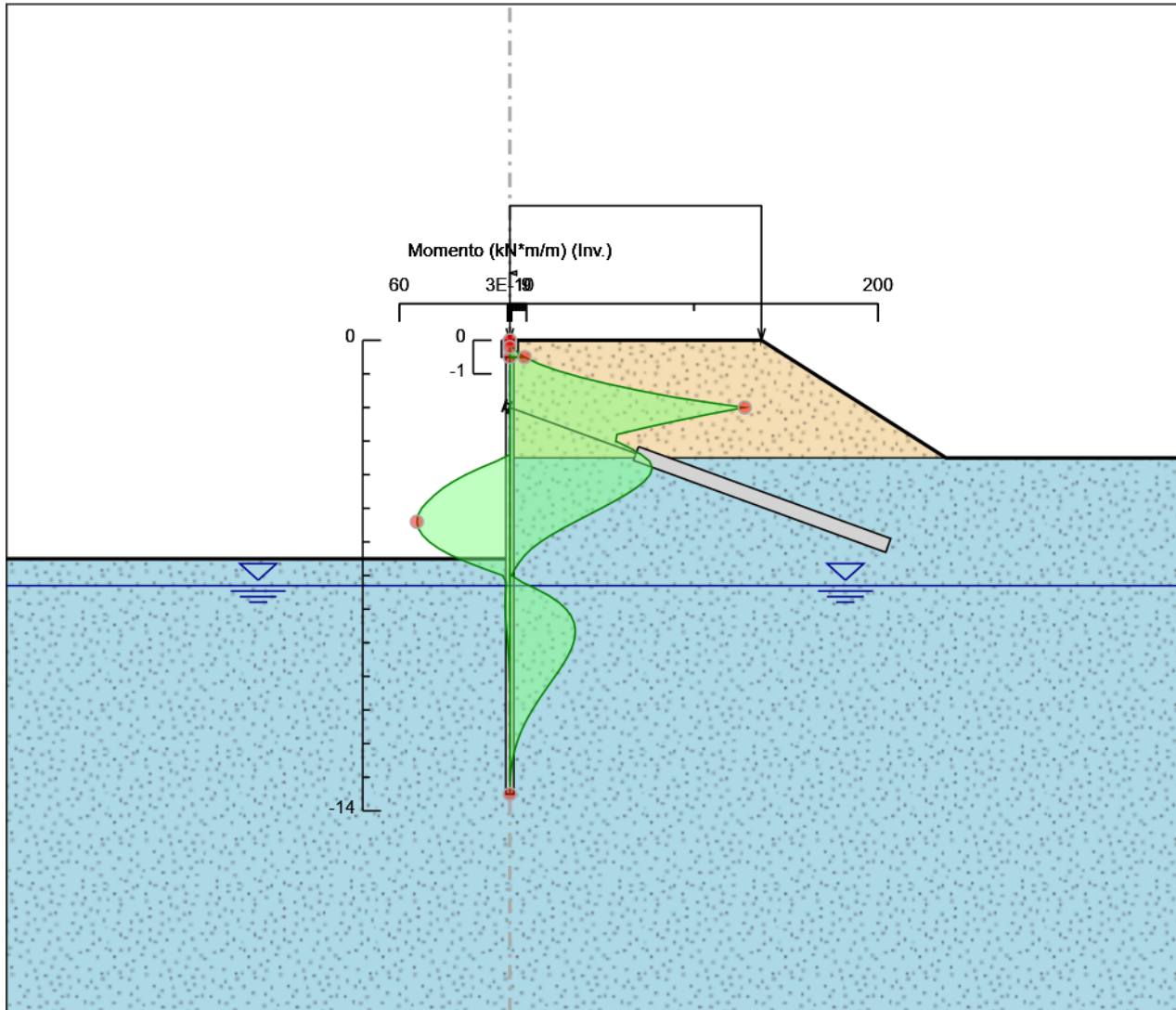
**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

Selected Design Assumptions Z (m)	Inviluppi: Momento	Muro: micropalo
	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
-12.6	0	1.119
-12.8	0	0.634
-13	0	0.3
-13.2	0.003	0.099
-13.4	0.001	0.01
-13.5	0	0

## Tabella Involuppi Momento cordolo

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Momento Lato sinistro (kN*m/m)	Muro: cordolo Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.2	0	1.332
-0.4	0	5.157
-0.5	0	8.01

## Grafico Involuppi Momento



Momento

## Tabella Involuppi Taglio micropalo

Selected Design Assumptions Z (m)	Involuppi: Taglio Lato sinistro (kN/m)	Muro: micropalo Lato destro (kN/m)
-0.5	0	37.972
-0.7	0	50.563
-0.9	0	63.051
-1.1	0.065	76.047
-1.3	0.28	92.003
-1.5	0.509	107.882
-1.7	0.622	123.013
-1.9	0.641	133.268
-2	98.334	133.268
-2.2	98.334	32.528
-2.4	88.552	37.054
-2.6	83.209	40.216
-2.8	78.406	40.375
-3	73.325	40.375
-3.2	67.967	37.529
-3.4	62.347	31.663
-3.6	56.449	22.794
-3.8	51.345	6.782
-4	46.028	0.029
-4.2	40.5	0
-4.4	34.769	0
-4.6	31.814	0
-4.8	33.988	0
-5	35.108	0
-5.2	35.194	1.243
-5.4	35.194	7.614
-5.6	34.322	14.145
-5.8	31.734	20.837
-6	28.209	27.689
-6.2	24.259	34.702
-6.4	20.196	41.683
-6.6	16.246	47.758
-6.8	12.559	49.985
-7	9.226	49.985
-7.2	6.394	48.364
-7.4	4.319	42.896
-7.6	2.642	34.617
-7.8	1.335	26.626
-8	0.359	19.554
-8.2	0.007	13.355
-8.4	0.007	7.976
-8.6	2.127	3.355
-8.8	4.417	1.553
-9	6.617	1.505
-9.2	8.871	1.384
-9.4	10.675	1.221
-9.6	11.881	1.037
-9.8	12.585	0.851
-10	12.874	0.673
-10.2	12.874	0.511
-10.4	12.828	0.37
-10.6	12.52	0.254
-10.8	12.013	0.167
-11	11.363	0.097
-11.2	10.565	0.042
-11.4	9.601	0.001
-11.6	8.538	0
-11.8	7.43	0
-12	6.321	0
-12.2	5.244	0
-12.4	4.225	0

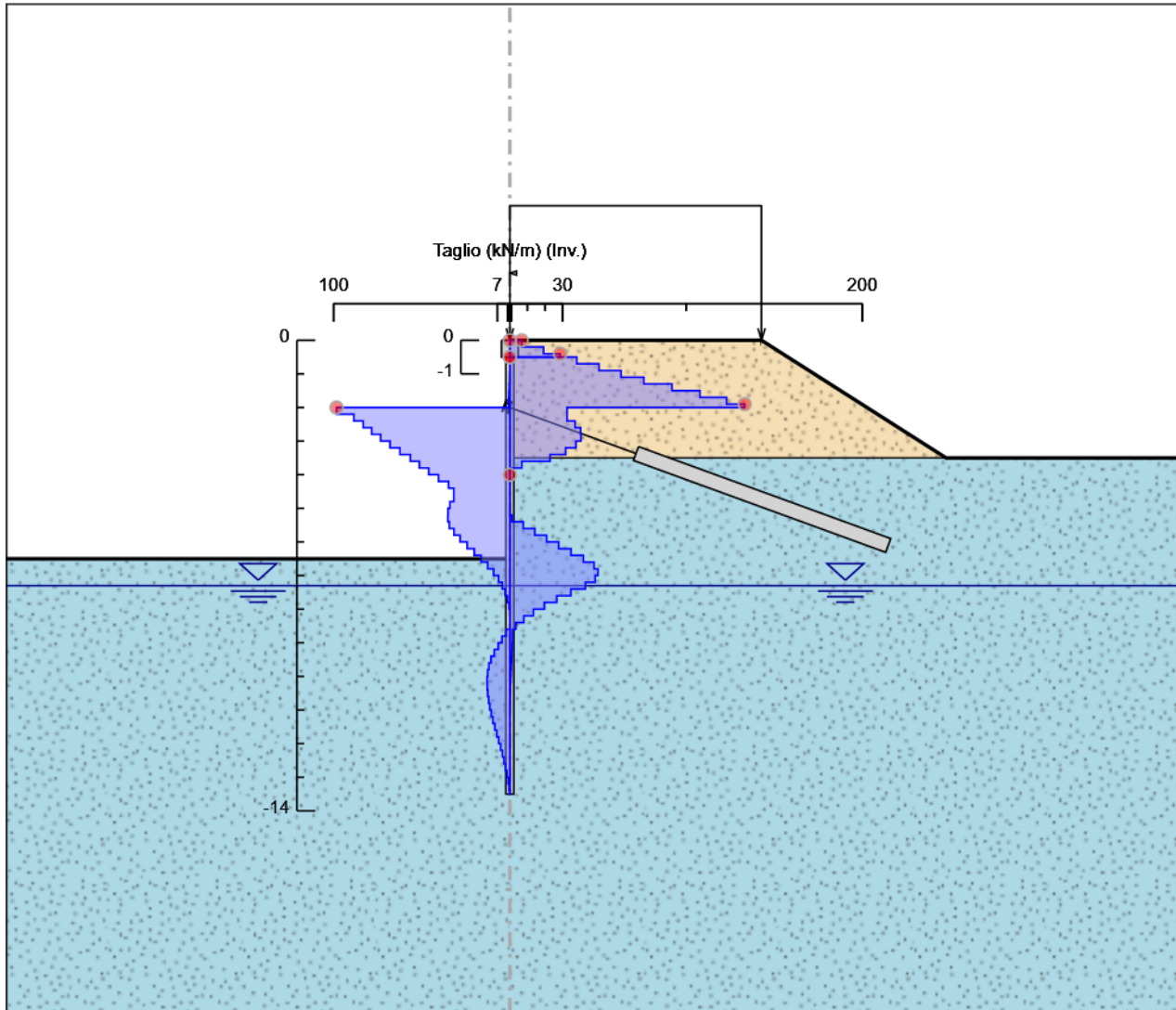
**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

Selected Design Assumptions Z (m)	Inviluppi: Taglio Lato sinistro (kN/m)	Muro: micropalo Lato destro (kN/m)
-12.6	3.282	0
-12.8	2.426	0
-13	1.666	0
-13.2	1.005	0.008
-13.4	0.446	0.013
-13.5	0.102	0.013

## Tabella Inviluppi Taglio cordolo

Selected Design Assumptions Z (m)	Inviluppi: Taglio Lato sinistro (kN/m)	Muro: cordolo Lato destro (kN/m)
0	0	6.658
-0.2	0	19.125
-0.4	0	28.539
-0.5	0	28.539

## Grafico Involuppi Taglio



Taglio



## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: A2+M2+R1	Scavo finale	Left Wall	LEFT	27.44
NTC2018: A2+M2+R1	Realizzazione tirante	Left Wall	RIGHT	10.46

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: A2+M2+R1	Stato di fatto	Left Wall	LEFT	132.32
NTC2018: A2+M2+R1	Scavo intermedio	Left Wall	RIGHT	108.88

## ***Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali***

### **Normative Verifiche**

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

### **Coefficienti per Verifica Tiranti**

GEO FS	1
$\xi_{a3}$	1.8
$\gamma_s$	1.15

## Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo

Design Assumption	Stato di fatto	Realizzazione paratia	Scavo intermedio	Realizzazione tirante	Scavo finale	Sisma
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	
NTC2018: SISMICA STR						V
NTC2018: SISMICA GEO						V

## Risultati SteelWorld

### Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld
-0.5	0.047
-0.7	0.091
-0.9	0.15
-1.1	0.223
-1.3	0.311
-1.5	0.411
-1.7	0.523
-1.9	0.666
-2	0.744
-2.2	0.629
-2.4	0.526
-2.6	0.43
-2.8	0.339
-3	0.335
-3.2	0.379
-3.4	0.416
-3.6	0.443
-3.8	0.451
-4	0.444
-4.2	0.425
-4.4	0.399
-4.6	0.366
-4.8	0.328
-5	0.289
-5.2	0.291
-5.4	0.294
-5.6	0.29
-5.8	0.276
-6	0.255
-6.2	0.224
-6.4	0.185
-6.6	0.136
-6.8	0.081
-7	0.022
-7.2	0.039
-7.4	0.088
-7.6	0.127
-7.8	0.158
-8	0.18
-8.2	0.195
-8.4	0.204
-8.6	0.207
-8.8	0.207
-9	0.202
-9.2	0.194
-9.4	0.184
-9.6	0.171
-9.8	0.157
-10	0.143
-10.2	0.128
-10.4	0.113
-10.6	0.098
-10.8	0.084
-11	0.071
-11.2	0.059
-11.4	0.047
-11.6	0.037
-11.8	0.029

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

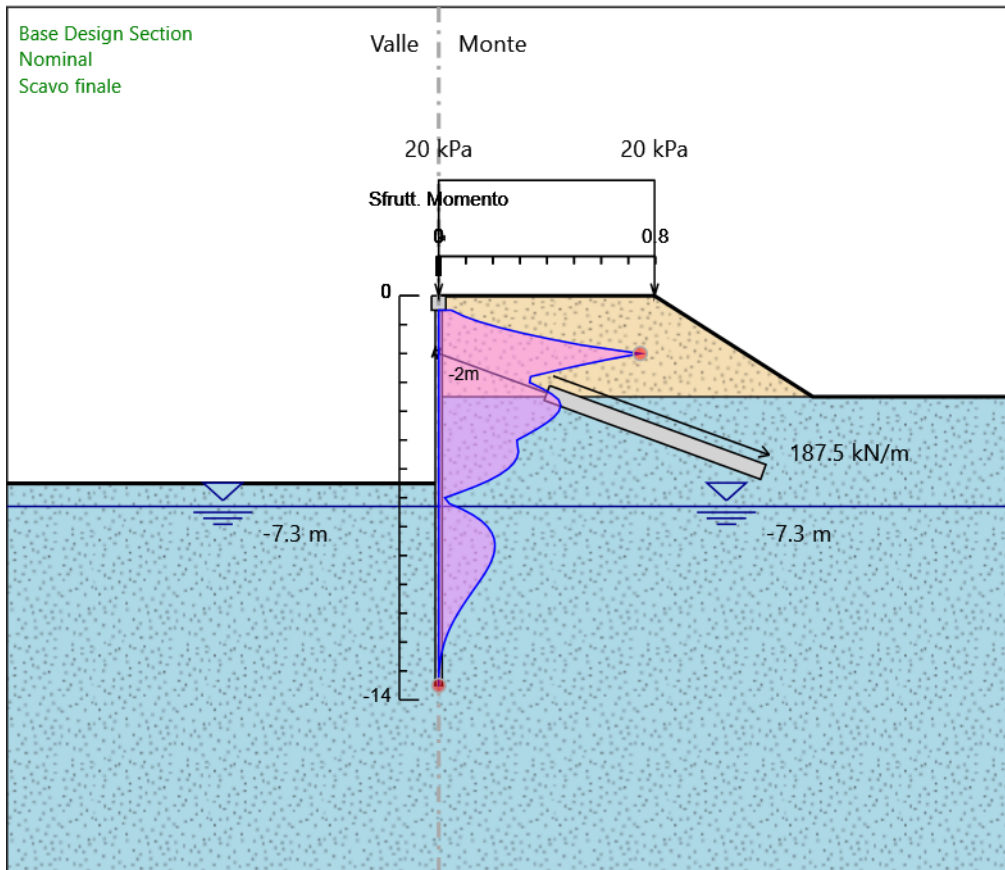
Involuppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld
-12	0.021
-12.2	0.015
-12.4	0.01
-12.6	0.007
-12.8	0.004
-13	0.002
-13.2	0.001
-13.4	0
-13.5	0

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

Inviluppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld Z (m)	LEFT Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld
---	--

**Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld**



Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento M-N - SteelWorld



**Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld : LEFT**

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
-0.5	0.024
-0.7	0.033
-0.9	0.041
-1.1	0.049
-1.3	0.059
-1.5	0.07
-1.7	0.08
-1.9	0.087
-2	0.063
-2.2	0.057
-2.4	0.054
-2.6	0.051
-2.8	0.047
-3	0.044
-3.2	0.04
-3.4	0.036
-3.6	0.033
-3.8	0.03
-4	0.026
-4.2	0.022
-4.4	0.019
-4.6	0.021
-4.8	0.022
-5	0.023
-5.2	0.023
-5.4	0.022
-5.6	0.02
-5.8	0.018
-6	0.018
-6.2	0.022
-6.4	0.027
-6.6	0.031
-6.8	0.032
-7	0.031
-7.2	0.028
-7.4	0.022
-7.6	0.017
-7.8	0.013
-8	0.009
-8.2	0.005
-8.4	0.002
-8.6	0.001
-8.8	0.003
-9	0.004
-9.2	0.006
-9.4	0.007
-9.6	0.008
-9.8	0.008
-10	0.008
-10.2	0.008
-10.4	0.008
-10.6	0.008
-10.8	0.007
-11	0.007
-11.2	0.006
-11.4	0.006
-11.6	0.005
-11.8	0.004
-12	0.003
-12.2	0.003
-12.4	0.002

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

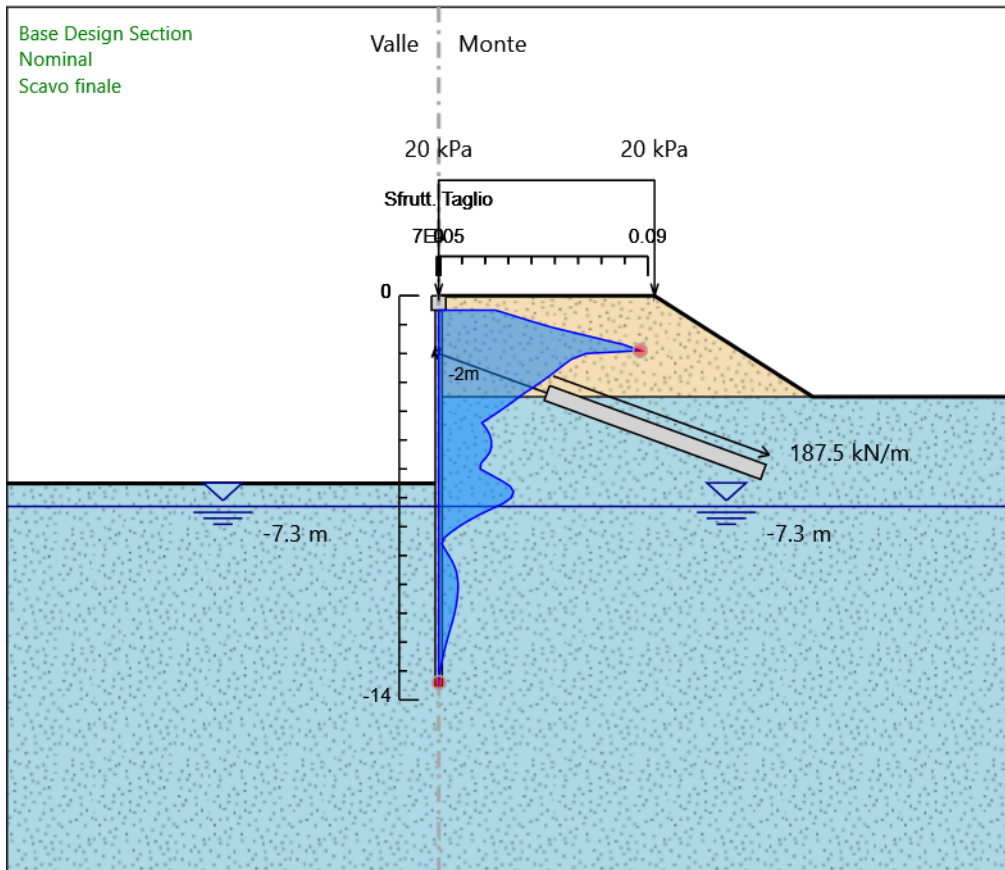
Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
-12.6	0.002
-12.8	0.001
-13	0.001
-13.2	0
-13.4	0
-13.5	0

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld Z (m)	LEFT Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
--	---

**Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld**



Inviluppi  
Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld

**Verifiche Tiranti NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)**

Design Assumption: NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) Tirante	Tipo Risultato: Verifiche Tiranti Stage				NTC2018 (ITA)			
		Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	300	904.779	605.557	0.332	0.495		NO
Tieback	Scavo finale	314.374	904.779	605.557	0.347	0.519		NO
Tieback	Sisma	311.978	904.779	605.557	0.345	0.515		NO

**Verifiche Tiranti NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)**

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) Tirante	Tipo Risultato: Verifiche Tiranti Stage				NTC2018 (ITA)			
		Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	390	456.959	605.557	0.853	0.644		
Tieback	Scavo finale	410.459	456.959	605.557	0.898	0.678		
Tieback	Sisma	406.864	456.959	605.557	0.89	0.672		

**Verifiche Tiranti NTC2018: A2+M2+R1**

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1 Tirante	Tipo Risultato: Verifiche Tiranti Stage				NTC2018 (ITA)			
		Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	300	456.959	605.557	0.657	0.495		
Tieback	Scavo finale	340.817	456.959	605.557	0.746	0.563		
Tieback	Sisma	330.325	456.959	605.557	0.723	0.545		

**Verifiche Tiranti NTC2018: SISMICA STR**

Design Assumption: NTC2018: SISMICA STR Tirante	Tipo Risultato: Verifiche Tiranti Stage				NTC2018 (ITA)			
		Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	300	456.959	605.557	0.657	0.495		
Tieback	Scavo finale	314.374	456.959	605.557	0.688	0.519		
Tieback	Sisma	324.655	456.959	605.557	0.71	0.536		



**Verifiche Tiranti NTC2018: SISMICA GEO**

Design Assumption: NTC2018: SISMICA GEO Tirante	Tipo Risultato: Verifiche Tiranti Stage				NTC2018 (ITA)			
		Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
Tieback	Realizzazione tirante	300	456.959	605.557	0.657	0.495		
Tieback	Scavo finale	314.374	456.959	605.557	0.688	0.519		
Tieback	Sisma	324.655	456.959	605.557	0.71	0.536		

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

Tipo Risultato: Verifiche Tiranti									
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze	Design Assumption
Tieback	Scavo finale	410.459	456.959	605.557	0.898	0.678			NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

## Verifiche Travi di Ripartizione Nominal

Design Assumption: Nominal	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione								
Trave di Ripartizione	Elemento strutturale	Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	187.5	0	0	0	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	196.484	0	0	0	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	202.909	0	0	0	0

## Verifiche Travi di Ripartizione NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)

Design Assumption: NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) Trave di Ripartizione	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione Elemento strutturale	NTC2018 (ITA) Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	187.5	0	0.15	0.263	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	196.484	0	0.157	0.276	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	194.986	0	0.156	0.274	0

## Verifiche Travi di Ripartizione NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) Trave di Ripartizione	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione Elemento strutturale	NTC2018 (ITA) Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	243.75	0	0.195	0.342	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	256.537	0	0.205	0.36	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	254.29	0	0.203	0.357	0

## Verifiche Travi di Ripartizione NTC2018: A2+M2+R1

Design Assumption: NTC2018: A2+M2+R1 Trave di Ripartizione	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione Elemento strutturale	NTC2018 (ITA) Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	187.5	0	0.15	0.263	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	213.011	0	0.17	0.299	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	206.453	0	0.165	0.29	0

## Verifiche Travi di Ripartizione NTC2018: SISMICA STR

Design Assumption: NTC2018: SISMICA STR Trave di Ripartizione	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione Elemento strutturale	NTC2018 (ITA) Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	187.5	0	0.15	0.263	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	196.484	0	0.157	0.276	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	202.909	0	0.162	0.285	0

**SOTTOVIA KM 4+200 – Relazione di calcolo opere provvisionali**

Design Assumption: NTC2018: SISMICA GEO Trave di Ripartizione	Tipo Risultato: Verifiche Travi di Ripartizione Elemento strutturale	NTC2018 (ITA) Sezione	Materiale	Stage	Carico distribuito (kN/m)	Assiale (kN)	Ratio M-N	Ratio taglio	Instabilità
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Realizzazione tirante	187.5	0	0.15	0.263	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Scavo finale	196.484	0	0.157	0.276	0
Default Waler	Tieback	HE 180B	S355	Sisma	202.909	0	0.162	0.285	0



