

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI PROGETTI PALERMO

SOGGETTO TECNICO:



DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI PALERMO
S. O. INGEGNERIA DI PALERMO

PROGETTAZIONE:

SINTAGMA S.r.l. - ITALIANA SISTEMI S.r.l.

TIMBRO E FIRMA DEL PROGETTISTA



PROGETTO DEFINITIVO

CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016

**Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento
per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo**

OPERE CIVILI

NUOVE OPERE DI SOSTEGNO LUNGO LINEA

Relazione di calcolo delle paratie

SCALA -

Foglio - di -

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
3 0 4 8 1 7	S 0 1	P D	T G - -	0 6	0 0 0	E 0 0 0 2

Rev.	Descrizione	Progettista			RFI			
		Redatto	Verificato	Approvato	Verificato Team Ver.	Verificato C.	Approvato	Autorizzato
A	Emissione	OTT. 18	OTT. 18	OTT. 18				
		F. Novelli	Ing. Sellari	Ing. Granieri	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo
B	Recep. Istruttoria	Luglio '19	Luglio '19	Luglio '19				
		F. Novelli	Ing. Sellari	Ing. Granieri	D.T.	D.T.	Ing. Martinelli	Ing. Palazzo

LINEA SEDE TECN. NOME DOC. NUMERAZ.

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

Sommario

1	INTRODUZIONE	5
2	NORMATIVE E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	8
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	9
3.1	CALCESTRUZZO	9
3.1.1	MAGRONE DI PULIZIA E LIVELLAMENTO	9
3.1.2	PALI.....	9
3.2	ACCIAIO	9
3.2.1	ACCIAIO D'ARMATURA	9
4	DATI GEOTECNICI DI CALCOLO.....	11
5	ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO	12
5.1	STATICA DELLE TERRE E DELL'ACQUA	12
5.2	PESO PROPRIO DELLA PARATIA.....	14
6	DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO	15
6.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	15
6.2	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO.....	15
6.3	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	15
6.4	AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA	16
6.5	PARAMETRI SISMICI	17
6.6	ANALISI PSEUDO – STATICA	17
6.7	CALCOLO DELLA SPINTA SISMICA.....	19
7	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE	21
7.1	CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE.....	24
7.2	CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.	24
7.2.1	VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE – PRESSOFLESSIONE	24
7.2.2	VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO.....	24
8	METODO DI ANALISI - CALCOLO PARATIA	25
9	MODELLO 1	29
9.1.1	FASI DI CALCOLO	31
9.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	33
9.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	35
9.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	35
9.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	38
9.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	41

9.1.7	SPOSTAMENTI	41
10	MODELLO 2	43
10.1.1	FASI DI CALCOLO	45
10.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	47
10.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	49
10.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	49
10.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	52
10.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	55
10.1.7	SPOSTAMENTI	55
11	MODELLO 3	57
11.1.1	FASI DI CALCOLO	59
11.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	61
11.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	63
11.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	63
11.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	66
11.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	69
11.1.7	SPOSTAMENTI	69
12	MODELLO 4	71
12.1.1	FASI DI CALCOLO	73
12.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	75
12.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	77
12.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	77
12.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	80
12.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	83
12.1.7	SPOSTAMENTI	83
13	MODELLO 5	85
13.1.1	FASI DI CALCOLO	87
13.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	89
13.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.	91
13.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	91
13.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	94
13.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	97
13.1.7	SPOSTAMENTI	97
14	MODELLO 6	99
14.1.1	FASI DI CALCOLO	101
14.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI	103

14.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.....	105
14.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	105
14.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	108
14.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	111
14.1.7	SPOSTAMENTI	111
15	MODELLO 7	113
15.1.1	FASI DI CALCOLO	115
15.1.2	RISULTATI DELLE ANALISI.....	118
15.1.3	SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.....	119
15.1.4	VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.	120
15.1.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	123
15.1.6	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	126
15.1.7	SPOSTAMENTI	126

1 INTRODUZIONE

La presente **Relazione di calcolo** viene redatta a supporto della Progettazione Definitiva relativa agli interventi di potenziamento della tratta ferroviaria Alcamo Diramazione – Trapani via Milo, finalizzati al ripristino della funzionalità della linea attraverso la risoluzione dei numerosi dissesti di carattere geologico – geotecnico presenti.

In particolare la Relazione ha per oggetto il dimensionamento e la verifica delle paratie previste in progetto. Tali opere d'arte sono previste qualora i maggiori spazi per l'inserimento della nuova sezione tipo, in rilevato o in trincea, non sono disponibili per la presenza di preesistenze (zone edificate o viabilità). La scelta di ricorrere a paratie di pali di medio diametro (diametro $\phi = 800$ mm e interasse $i = 1.0$ m) è dovuta a velocità di cantiere e ha lo scopo, come detto, di ridurre gli eccessivi scavi che avrebbero un impatto negativo sulle limitrofe viabilità e pertinenze private. Al fine di limitare l'impatto delle opere se ne prevede il rivestimento con muratura in pietra locale.

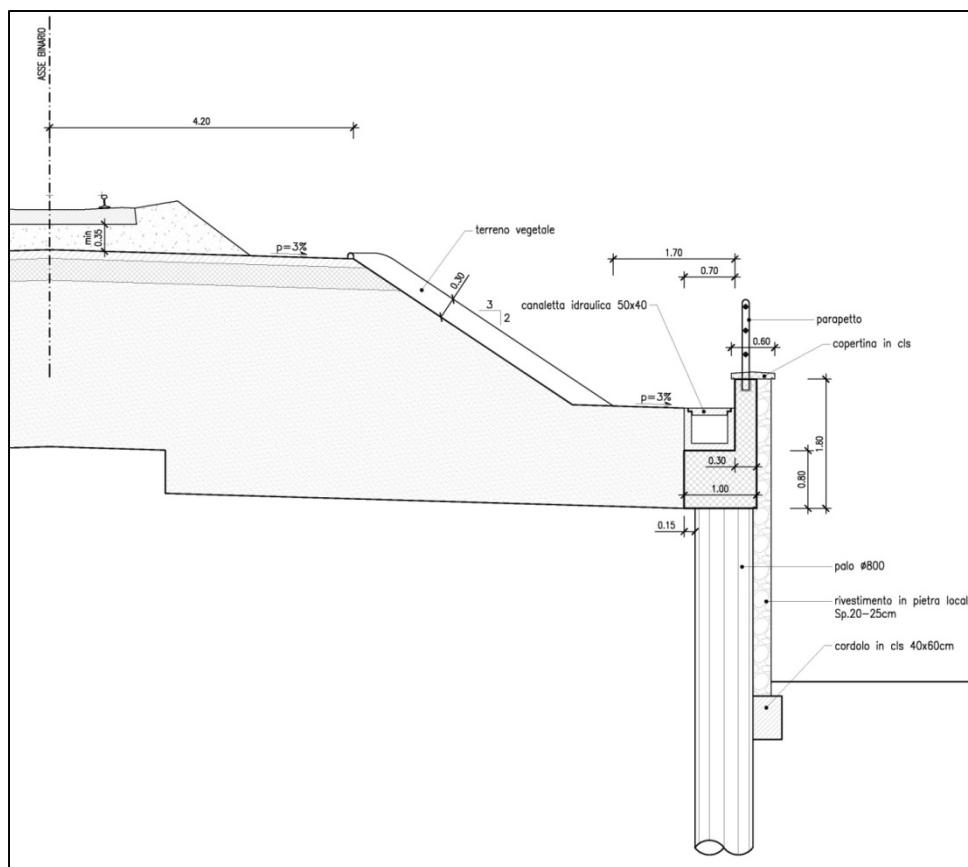
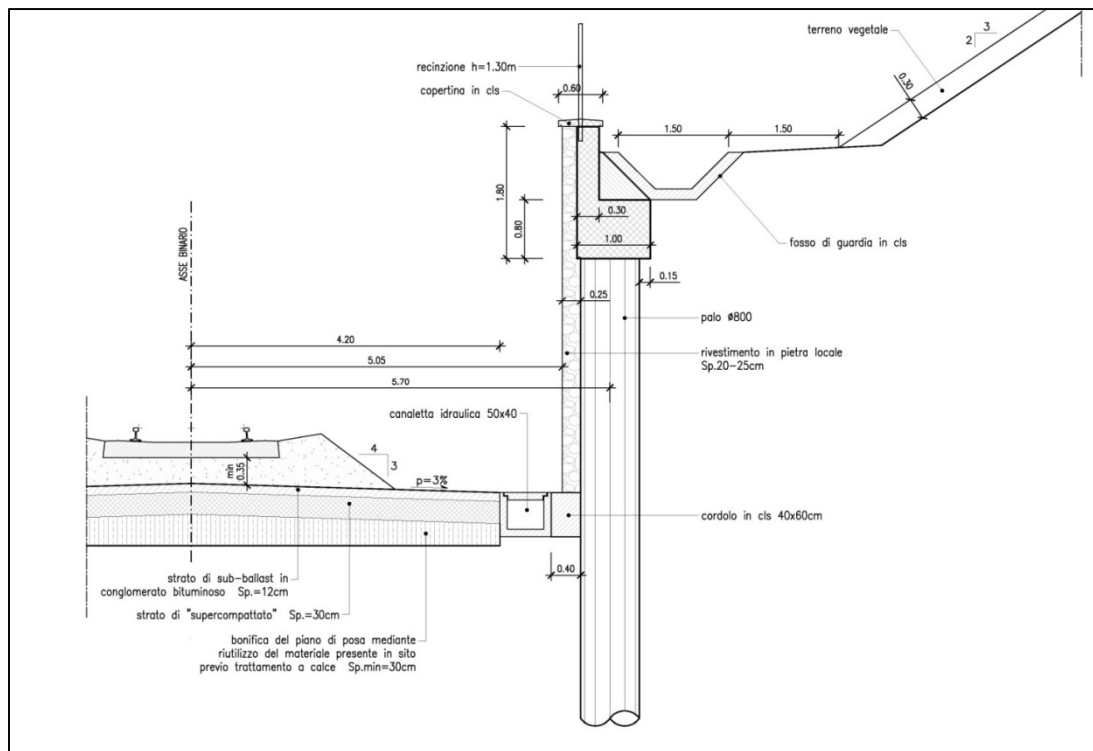


Figura 1 – Paratia in corrispondenza della sezione in rilevato.


Figura 2 – Paratia in corrispondenza della sezione in trincea.

La Tabella 1 riporta un elenco delle paratie in progetto lungo tutto il tracciato. Oltre all'indicazione della pk di inizio e fine paratia, sono riportate le altezze H_{max} e H_{min} corrispondenti rispettivamente alla distanza massima e minima, lungo lo sviluppo della singola paratia, tra l'intradosso del cordolo di coronamento in c.a. e il fondo scavo, con h la distanza tra la quota del terreno in asse alla paratia e l'intradosso del cordolo. L'altezza di scavo H_s adottata nei calcoli di verifica è rappresentata da $H_{max} + h$.

paratia n.	pk da	pk a	H_{max} (m)	H_{min} (m)	h (m)	H_s (m)	modello
1	76+194	76+250	2.1	2.1	1.4	3.5	
2	77+692	77+809	1.8	1.8	0.8	2.6	
3	79+560	79+850	2.1	0.0	-0.1	2.0	
4	80+031	80+080	2.0	2.0	-0.2	1.8	
5	80+427	80+539	2.5	2.5	0.2	2.7	
6	80+634	80+751	3.5	2.0	-0.8	2.7	
7	81+850	81+944	2.5	1.3	0.0	2.5	
8	84+357	84+412					
9	87+375	87+425					
10	87+604	87+645	2.6	2.5	0.4	3.0	4
11	87+925	88+000					
12	88+160	88+150					
13	95+500	95+600	3.7	1.0	-0.4	3.3	5

14	101+260	101+550	2.2	1.7	0.2	2.4	6
15	102+673	102+766	4.4	4.4	0.6	5.0	7
	102+700	102+770					
16	104+542	104+628	0.8	0.2	1.6	2.4	
17	105+500	105+750	2.3	1.9	1.4	3.7	1
18	105+825	106+050	3.4	0.7	0.4	3.8	
19	107+166	107+700	3.7	0.0	0.5	4.2	2
20	108+275	108+550	3.6	2.0	-0.9	2.7	
21	111+634	111+730	2.9	2.1	0.0	2.9	
22	113+480	113+543	2.9	1.7	0.9	3.8	3
23	115+285	115+425	2.6	0.2	0.4	3.0	

Tabella 1 – Elenco delle paratie in progetto lungo lo sviluppo del tracciato.

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002</p>	<p>Relazione di calcolo delle paratie</p>

2 NORMATIVE E RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

La Normativa seguita per il dimensionamento delle opere è costituita da:

- **D.M. 14 Gennaio 2008:** Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- **Circ. Min. 02 Febbraio 2009:** Circolare esplicativa delle NTC2008;
- **RFI DTC SI MA IFS 001 A:** Manuale di Progettazione delle Opere Civili del 30/12/2016;
- **D.M. 17 Gennaio 2018:** Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni.

Si è fatto inoltre riferimento ai seguenti riferimenti bibliografici:

- R. Lancellotta, *Geotecnica*, Zanichelli;
- C. Viggiani, *Fondazioni*, Hevelius, 1999;
- C.R. I. Clayton, J. Milititsky, R.I. Woods, *Earth Pressure and Earth Retaining Structures*, 1993 (traduzione italiana a cura di M. Cecconi, G.M.B. Viggiani, *La spinta delle terre e le opere di sostegno*, Hevelius, 2006)

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

3.1.1 MAGRONE DI PULIZIA E LIVELLAMENTO

- Classe di resistenza C12/15 $R_{ck} \geq 15 \text{ N/mm}^2$
- Classe di esposizione ambientale X0

3.1.2 PALI

- Classe di resistenza C25/30 $R_{ck} \geq 30 \text{ N/mm}^2$
- Classe di esposizione ambientale XC2
- Copriferro nominale minimo 60 mm

Resistenza di calcolo del calcestruzzo per la verifica agli SLU ($\gamma_c = 1.5$):

Resistenza di calcolo a rottura per compressione:

- $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck}$ 24.9 N/mm²
- $f_{cm} = f_{ck} + 8$ 32.9 N/mm²
- $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ 14.1 N/mm²

Resistenza di calcolo a rottura per trazione:

- $f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3}$ 2.56 N/mm²
- $f_{ctk,5\%} = 0.70 \cdot f_{ctm}$ 1.79 N/mm²
- $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$ 1.19 N/mm²
- $f_{cfm} = 1.2 \cdot f_{ctm}$ 3.07 N/mm²
- $f_{cfk,5\%} = 0.70 \cdot f_{cfm}$ 2.15 N/mm²
- $E_{cm} = 22.000 [f_{cm}/10]^{0.3}$ 31447.2 N/mm²

Massima tensione allo SLE per combinazione caratteristica (rara):

- $\sigma_c = 0.55 \cdot f_{ck}$ 13.70 N/mm²

Massima tensione allo SLE per combinazione quasi permanente:

- $\sigma_c = 0.40 \cdot f_{ck}$ 9.96 N/mm²

3.2 ACCIAIO

3.2.1 ACCIAIO D'ARMATURA

L'acciaio utilizzato è ad aderenza migliorata tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni di snervamento e rottura:

- $f_{y, nom}$ 450 N/mm²
- $f_{t, nom}$ 540 N/mm²

e deve rispettare i requisiti indicati nella seguente Tabella 2 – Tabella 11.3.Ib delle NTC18.

:

caratteristiche	requisiti	frattile (%)
tensione caratteristica di snervamento, f_{yk}	$\geq f_{y, nom}$	5.0
tensione caratteristica di rottura, f_{tk}	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	≥ 1.15	10.0

	< 1.35	
$(f_y/f_{y\text{nom}})_k$	≤ 1.25	10.0
allungamento, $(A_{gt})_k$	$\geq 7.5\%$	10.0
diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche		
$\Phi < 12 \text{ mm}$	4 Φ	
$12 \leq \Phi \leq 16 \text{ mm}$	5 Φ	
per $16 < \Phi \leq 25 \text{ mm}$	8 Φ	
per $25 < \Phi \leq 40 \text{ mm}$	10 Φ	

Tabella 2 – Tabella 11.3.Ib delle NTC18.

- E_s 210000 N/mm²
- Sovrapposizioni barre $\geq 40\Phi$


Resistenza di calcolo dell'acciaio per la verifica agli SLU ($\gamma_s=1.15$):

Resistenza di calcolo a rottura per trazione e deformazione corrispondente:

- $f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s$ 391.3 N/mm²
- $\epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$ 0.186%

Massima tensione allo SLE:

- $\sigma_s = 0.75 f_{yk}$ 337.5 N/mm²

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002 Relazione di calcolo delle paratie

4 DATI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione geotecnica (304817_S01_PD_TG--_02_000_E0017), nella Tabella 4 sono riportati i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto dei terreni interessati dalle opere, fattorizzati utilizzando i coefficienti M1 e M2 contenuti nella seguente Tabella 3

parametro	grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	coefficiente parziale γ_M	M1	M2
tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
resistenza non drenata	c_u	γ_{c_u}	1.00	1.40
peso dell'unità di volume	γ	γ_v	1.00	1.00

Tabella 3 – Tabella 6.2.II delle NTC18 – coefficienti parziali di sicurezza per i parametri geotecnici del terreno.

strato	profondità da	profondità da	peso di volume	angolo di resistenza al taglio			coesione efficace			modulo di Young	
				ϕ'_k	ϕ'_d (M1)	ϕ'_d (M2)	c'_k	c'_d (M1)	c'_d (M2)		E'
				°	°	°	kPa	kPa	kPa		MPa
Unità Geotecnica 1 (UG1)	0	4	18.5	19	19	15.4	22	22	17.1	60	
Unità Geotecnica 2 (UG2)	4	fm	18.0	21	21	17.6	20	20	16.0	75	
CLASSE DI SUOLO: E											

Tabella 4 – Parametri geotecnici di calcolo..

Si rimanda al paragrafo 7 per i criteri di verifica geotecnica agli SLU, con specifico riferimento alle combinazioni di coefficienti parziali da applicare nell'analisi di paratie, in accordo al paragrafo 6.5.3.1.2 delle NTC18.

5 ANALISI DEI CARICHI STATICI DI PROGETTO

5.1 STATICA DELLE TERRE E DELL'ACQUA

La spinta del terreno viene determinata investigando l'interazione statica tra il terreno e la struttura di sostegno deformabile, a partire da uno stato di spinta a riposo del terreno sulla paratia.

I parametri che identificano il tipo di legge costitutiva possono essere distinti in due sottoclassi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno.

I parametri di spinta sono il coefficiente di spinta a riposo k_0 , il coefficiente di spinta attiva k_A e il coefficiente di spinta passiva k_P .

Il coefficiente di spinta a riposo fornisce lo stato tensionale presente in sito prima delle operazioni di scavo. Esso lega la tensione orizzontale efficace σ'_h a quella verticale σ'_v attraverso la relazione:

$$\sigma'_h = k_0 \cdot \sigma'_v$$

k_0 dipende dalla resistenza del terreno, attraverso il suo angolo di attrito efficace ϕ' , e dalla sua storia geologica. Si può assumere che:

$$k_0 = K_{0NC} \cdot (\text{OCR})^m$$

dove

$$k_{0NC} = 1 - \text{sen } \phi'$$

è il coefficiente di spinta a riposo per un terreno normalconsolidato ($\text{OCR}=1$), OCR è il grado di sovraconsolidazione e m è un parametro empirico, di solito compreso tra 0.4 e 0.7.

Il coefficiente di spinta attiva e passiva sono dati, secondo la teoria di Rankine, per una parete liscia, da:

$$k_A = \tan^2(45 - \phi'/2)$$

$$k_P = \tan^2(45 + \phi'/2)$$

Per tener conto dell'angolo di attrito δ tra paratia e terreno il software ParatiePlus impiega per k_A e k_P la formulazione rispettivamente di Coulomb e Caquot – Kerisel.

Formulazione di Coulomb per k_A :

$$k_A = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\text{sen}(\delta + \phi') \cdot \text{sen}(\phi' - i)}{\sqrt{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

dove:

ϕ' è l'angolo di attrito del terreno

β è l'angolo d'inclinazione del diaframma rispetto alla verticale

δ è l'angolo di attrito paratia-terreno

i è l'angolo d'inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale

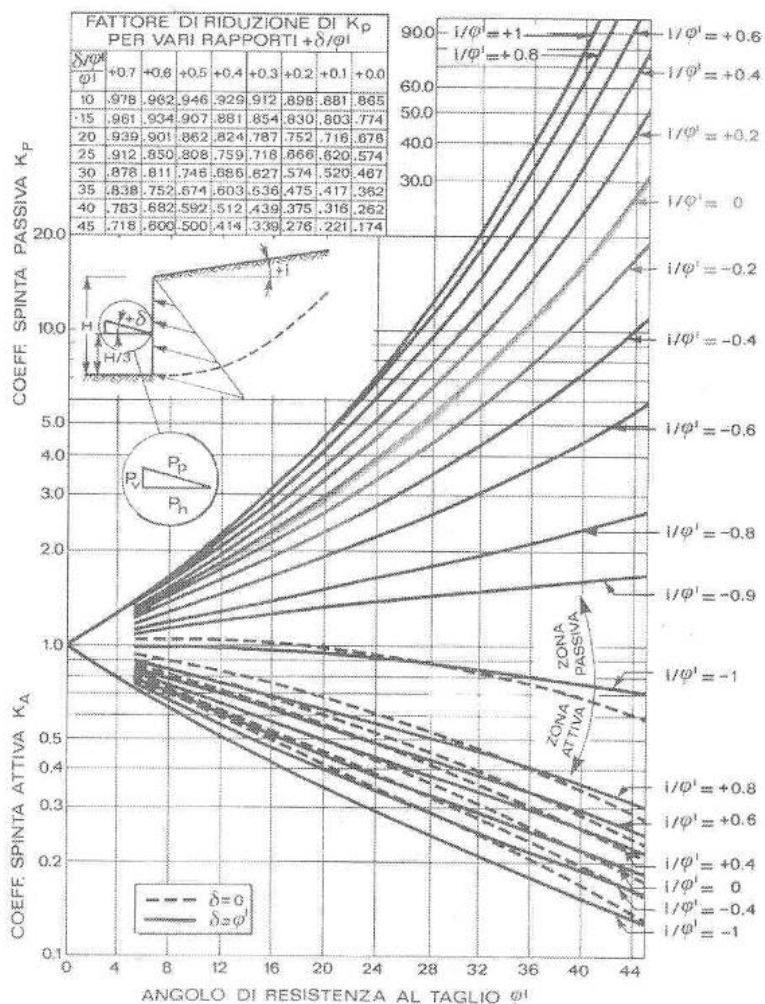


Figura 3 – Formulazione di Caquot – Kerisel per K_p che considera superfici di rottura curvilinee.

Il valore limite della tensione orizzontale sarà dato da:

$$\sigma'_h = K_a \sigma'_v - 2c' \sqrt{K_a}$$

$$\sigma'_h = K_p \sigma'_v + 2c' \sqrt{K_p}$$

a seconda che il collasso avvenga rispettivamente in spinta attiva o passiva.


c' è la coesione efficace del terreno.

 Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002	Relazione di calcolo delle paratie

5.2 PESO PROPRIO DELLA PARATIA

Il peso proprio del palo è pari a:

$$P_{\text{palo}} = \pi \cdot 0.40^2 \cdot 25 = 12.6 \text{ kN/m}$$

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016
304817_S01_PD_TG- - _06_000_E0002	Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
Relazione di calcolo delle paratie	

6 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

6.1 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un Periodo di Riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la Vita Nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U . Nel caso in esame si ha

$$V_R = V_N \cdot C_U = 75 \cdot 1.50 = 112.5 \text{ anni (Periodo di Riferimento).}$$

Fissato il Periodo di riferimento V_R , Tempo di Ritorno, T_R , e Probabilità di Superamento nel Periodo di Riferimento, P_{VR} , sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione seguente:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{C_U \cdot V_N}{\ln(1 - P_{VR})}$$

	STATO LIMITE	P_{VR} : Probabilità di Superamento nel Periodo di Riferimento
SLE	SLO - Stato Limite di Operatività	81%
	SLD - Stato Limite di Danno	63%
SLU	SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita	10%
	SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso	5%

Tabella 5 – Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato.

6.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO


Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle Categorie di Sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel §3.2.2 delle NTC2018. I terreni di progetto possono essere classificati come appartenenti alla **Categoria E**.

6.3 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 – Classificazione topografie superficiali.

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016
304817_S01_PD_TG- - _06_000_E0002	Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
Relazione di calcolo delle paratie	

Le categorie topografiche appena definite si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata può essere classificata come **Categoria T1**.

6.4 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA

In riferimento a quanto indicato nel §3.2.3.2.1 delle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente $S = S_S \cdot S_T$ e di C_c in base alla Categoria di Sottosuolo e alle condizioni topografiche; si fa riferimento nella valutazione dei coefficienti alle tabelle riportate di seguito.

Categoria sottosuolo	S_S	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tabella 7 - Tabella delle espressioni per S_S e C_c .

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

Tabella 8 - Tabella valori massimi del coeff. di amplificazione topografica S_T .

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002

6.5 PARAMETRI SISMICI

Nel seguito sono riassunti i parametri sismici adottati nelle verifiche sismiche delle paratie di cui alla Tabella 1. Le coordinate geografiche sono relative al sistema ED50. Tali parametri sono stati dedotti attraverso il foglio di calcolo Excel Spettri-NTCver.1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

paratia n.	pk da	pk a	$a_g(g)$	F_0	$T_c^*(s)$	Latitudine	Longitudine	S_s	S_T
10	87+604	87+645	0.117	2.555	0.330	37.95097	12.82719	1.6	1.0
13	95+500	95+600	0.098	2.602	0.336	37.93133	12.74735	1.6	1.0
14	101+260	101+550	0.087	2.627	0.338	37.95329	12.69517	1.6	1.0
15	102+673	102+766	0.084	2.632	0.338	37.95614	12.68121	1.6	1.0
	102+700	102+770							
17	105+500	105+750	0.080	2.629	0.339	37.97126	12.66026	1.6	1.0
19	107+166	107+700	0.078	2.619	0.340	37.98041	12.64435	1.6	1.0
22	113+480	113+543	0.071	2.578	0.344	37.99884	12.58588	1.6	1.0

Tabella 9 – Parametri sismici adottati nelle verifiche sismiche delle paratie allo SLV.

paratia n.	pk da	pk a	$a_g(g)$	F_0	$T_c^*(s)$	Latitudine	Longitudine	S_s	S_T
10	87+604	87+645	0.049	2.456	0.263	37.95097	12.82719	1.6	1.0
13	95+500	95+600	0.042	2.487	0.256	37.93133	12.74735	1.6	1.0
14	101+260	101+550	0.039	2.495	0.246	37.95329	12.69517	1.6	1.0
15	102+673	102+766	0.038	2.496	0.243	37.95614	12.68121	1.6	1.0
	102+700	102+770							
17	105+500	105+750	0.036	2.491	0.236	37.97126	12.66026	1.6	1.0
19	107+166	107+700	0.036	2.483	0.233	37.98041	12.64435	1.6	1.0
22	113+480	113+543	0.033	2.458	0.227	37.99884	12.58588	1.6	1.0

Tabella 10 – Parametri sismici adottati nelle verifiche sismiche delle paratie allo SLD.

6.6 ANALISI PSEUDO – STATICA

L'analisi sismica delle paratie è stata eseguita mediante il metodo pseudo statico. In tale metodo l'azione sismica l'azione sismica è definita mediante una accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici a_h può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

Dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante la relazione

$$a_{max} = S a_g = S_S S_T a_g$$

dove S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), ed a_g l'accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido.

Il coefficiente α può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma di Figura 7.11.2 delle NTC2018.

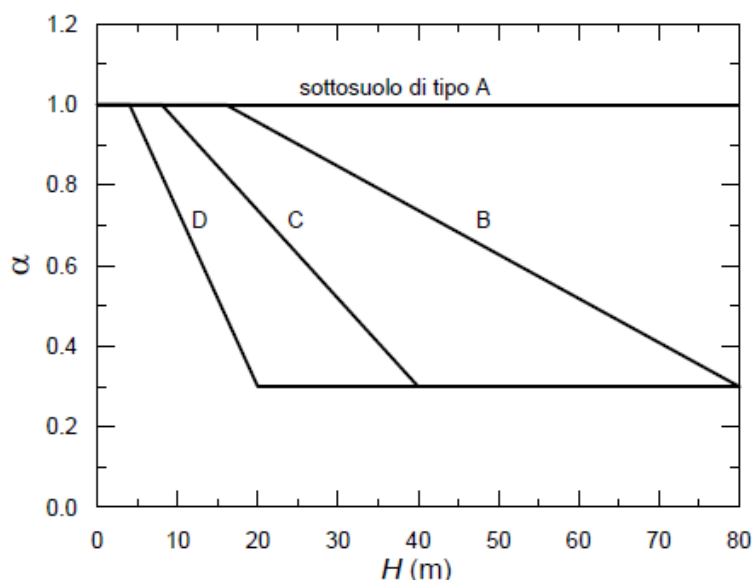


Figura 4 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α .

Per il sottosuolo di categoria E si utilizzano le curve dei sottosuoli C o D in dipendenza dei valori assunti dalla velocità equivalente V_s . Nel caso in esame si è utilizzata la curva relativa alla categoria C.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma di Figura 7.11.3 delle NTC2018, in funzione del massimo spostamento permanente u_s che l'opera può tollerare, verificando l'effettivo sviluppo di meccanismi duttili nel sistema. In assenza di tale verifica il coefficiente β vale 1. Nel caso in esame si ricade in quest'ultima fattispecie e pertanto $\beta = 1$.

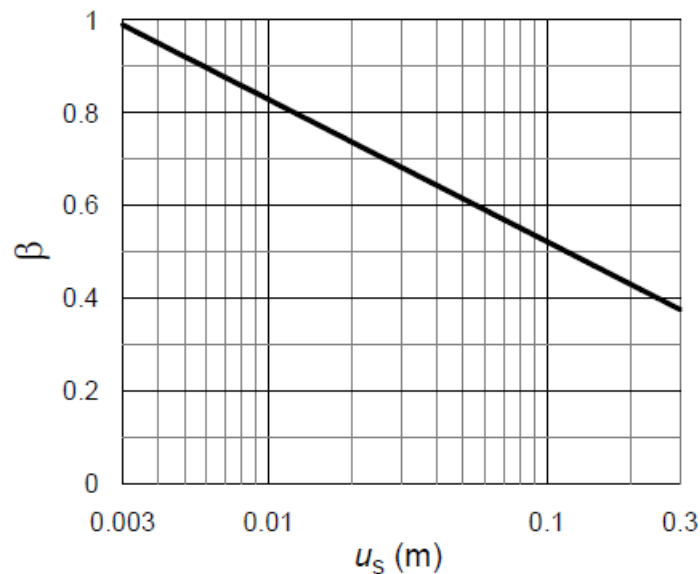


Figura 5 – Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità β .

In conformità al paragrafo 7.11.6.3.1 delle NTC2018 si sono trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

6.7 CALCOLO DELLA SPINTA SISMICA

L'effetto del sisma è tenuto in conto applicando un incremento di spinta del terreno, valutato secondo la teoria di Mononobe – Okabe, agente direttamente sulla paratia secondo una distribuzione triangolare inversa sull'intera altezza dell'opera, al fine di massimizzare le sollecitazioni di momento flettente.

$$\Delta S_E = \left[\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot (k_{AE} - k_A) \right]$$

dove γ rappresenta il peso dell'unità di volume della formazione con la quale l'opera interagisce, H rappresenta l'altezza totale dell'opera (comprensiva del tratto infisso), k_{AE} e k_A rappresentano i coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche e statiche rispettivamente.

I coefficienti di spinta attiva sono stati determinati attraverso la relazione di Mononobe (1929) e Okabe (1926). I coefficienti di spinta passiva sono stati determinati attraverso la relazione di Lancellotta (2007).

In particolare, il coefficiente per stati di spinta attiva si divide in due casi:

$$\beta \leq \phi - \theta \rightarrow k_{AE} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta \rightarrow k_{AE} = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \cdot \sin^2\psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta)}$$

Nelle relazioni precedenti

ϕ = angolo di attrito interno del terreno;
 ψ = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della paratia;
 β = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del profilo del terreno a tergo della paratia;
 δ = angolo di attrito terreno – paratia;

Il coefficiente per stati di spinta passiva è invece:

$$k_{PE} = \frac{\cos\delta + \sqrt{\sin^2\phi' - \sin^2\delta}}{\cos(i + \theta) - \sqrt{\sin^2\phi' - \sin^2(i + \theta)}} \cdot e^{2\psi_e \tan\phi'} \cdot \frac{\cos i}{\cos\theta}$$

$$\text{con } 2\psi_e = \sin^{-1}\left(\frac{\sin\delta}{\sin\phi'}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{\sin(i+\theta)}{\sin\phi'}\right) + \delta + i - \theta$$

Nella relazione precedente

ϕ = angolo di attrito interno del terreno;
 i = angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale del profilo del terreno a tergo della paratia;
 δ = angolo di attrito terreno – paratia;
 θ = angolo di rotazione addizionale definito come segue.

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nel caso in esame $\tan\theta = k_h$, essendo $k_v = 0$.

ψ_e = rotazione delle direzioni principali di tensione tra le due regioni estreme in condizioni pseudo – statiche.;

L'angolo di attrito terreno - paratia, δ , è stato assunto pari a zero.

7 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE

Le combinazioni di carico prese in considerazione nelle verifiche sono state definite in base a quanto prescritto dalle NTC2018 al par.2.5.3:

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

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

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

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

Combinazione Quasi Permanente, impiegata per gli effetti a lungo termine, da utilizzarsi nelle verifiche a fessurazione:

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

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

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

I valori dei coefficienti parziali di sicurezza γ_F , γ_M e γ_R , nonché i coefficienti di combinazione ψ delle azioni, sono dati dalle tabelle NTC2018 5.2.V, 5.2.VI, 6.2.II e 6.4.II che vengono riportate nel seguito.

L'analisi mira a garantire la sicurezza e le prestazioni attese attraverso il conseguimento dei seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti degli Stati Limite di Esercizio.
- sicurezza nei confronti degli Stati Limite Ultimi

Tali verifiche sono state effettuate applicando l'Approccio 1 che prevede le due seguenti combinazioni di coefficienti parziali

- Combinazione 1: A1+M1+R1
- Combinazione 2: A2+M2+R1

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
- instabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno;
- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

Per le verifiche di stabilità globale è stata impiegato l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2 – Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC2018).

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002 Relazione di calcolo delle paratie

		coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.10	1.35	1.00
carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0.90	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.45	1.45	1.25
carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0.00	0.00	0.00
	sfavorevoli		1.50	1.50	1.30
precompressione	favorevoli	γ_P	0.90	1.00	1.00
	sfavorevoli		1.00 ⁽⁵⁾	1.00 ⁽⁶⁾	1.00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevoli	γ_{Ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

(1) equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2

(2) nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si possono adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

(3) quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

(4) le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

(5) 1.30 per instabilità in strutture con precompressione esterna.

(6) 1.20 per effetti locali.

Tabella 11 – Tabella 5.2.V delle NTC18 – coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU.

Nella Tabella 5.2.V il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;

γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;

γ_{Ced} coefficiente parziale delle azioni di ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente.

azioni		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
azioni singole da traffico	carico sul rilevato a tergo delle spalle	0.80	0.50	0.00
	azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0.80	0.50	0.00
gruppi di carico	gr ₁	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	0.00
	gr ₂	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	-

	gr_3	0.80 ⁽²⁾	0.80 ⁽¹⁾	0.00
	gr_4	1.00	1.00 ⁽¹⁾	0.00
azioni del vento	F_{wk}	0.60	0.50	0.00
azioni da neve	in fase di esecuzione	0.80	0.00	0.00
	SLU e SLE	0.00	0.00	0.00
azioni termiche	T_k	0.60	0.60	0.50

Tabella 12 – Tabella 5.2.VI delle NTC18 – coefficienti di combinazione ψ delle azioni.

(1) 0.80 se è carico solo un binario, 0.60 se sono carichi due binari e 0.40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0.0.

parametro	grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	coefficiente parziale γ_M	M1	M2
tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan\phi'$	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	c'	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
resistenza non drenata	c_u	γ_{c_u}	1.00	1.40
peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.00	1.00

Tabella 13 – Tabella 6.2.II delle NTC18 – coefficienti parziali di sicurezza per i parametri geotecnici del terreno.

Si ottengono le seguenti combinazioni di carico per le verifiche:

	A1+M1+R1
Peso proprio palo	1.00/1.35
Spinta terreno	1.35
Sovraccarico a tergo della paratia	1.50

	A2+M2+R1
Peso proprio palo	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	1.30

	SISMICA STR
Peso proprio palo	1.00
Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	0.20
Inerzia orizzontale: palo + spinta sismica terreno	1.00

	SISMICA GEO
Peso proprio palo	1.00

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002

Spinta terreno	1.00
Sovraccarico a tergo della paratia	0.20
Inerzia orizzontale: palo + spinta sismica terreno	1.00

7.1 CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali condotte nel progetto.

7.2 CRITERI DI VERIFICA DELLE SEZIONI IN C.A.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

7.2.1 VERIFICHE PER GLI STATI LIMITE ULTIMI A FLESSIONE – PRESSOFLESSIONE

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione vengono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

7.2.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI A TAGLIO

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018, per elementi privi di armatura trasversale resistente a taglio.

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[0.18 / \gamma_c \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d ; (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

 <p>RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo</p>	<p>CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016</p> <p>Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo</p>
<p>304817_S01_PD_TG--_06_000_E0002</p>	<p>Relazione di calcolo delle paratie</p>

8 METODO DI ANALISI - CALCOLO PARATIA

Gli effetti nelle opere di sostegno flessibili delle spinte del terreno e di eventuali azioni concentrate sono stati esaminati con l'ausilio del programma di calcolo per l'analisi di strutture di sostegno flessibili ParatiePlus versione 18.1.3.

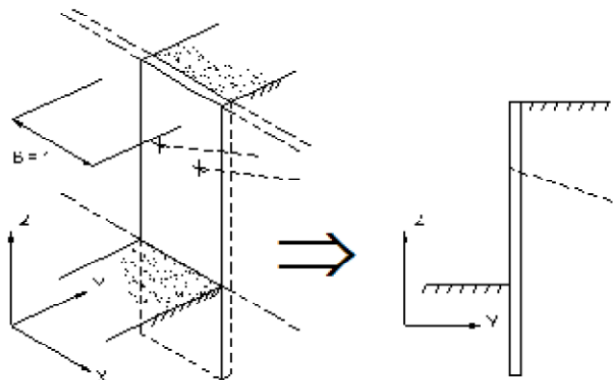
ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno.

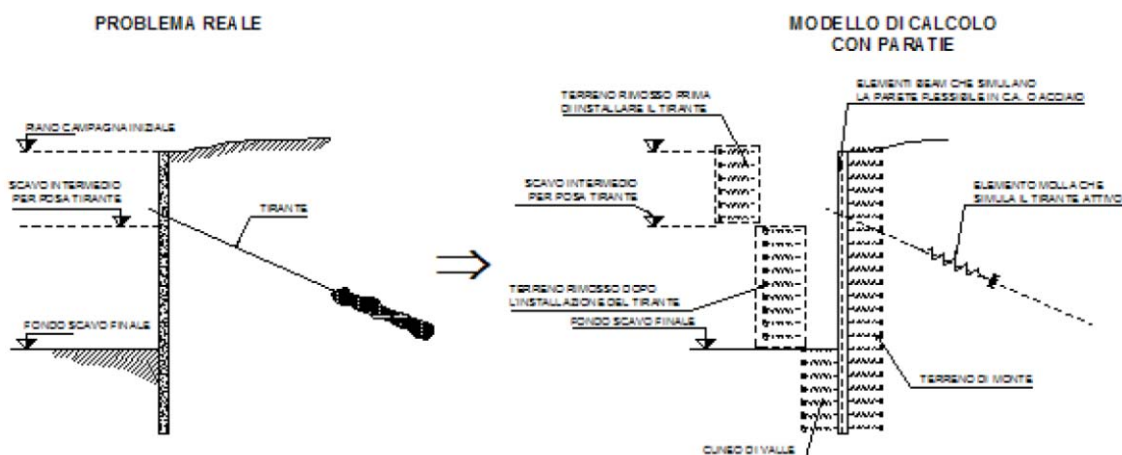
La simulazione numerica utilizzata segue due differenti percorsi:

- Analisi classica = viene eseguita una analisi all'equilibrio limite della singola o doppia paratia. Il calcolo delle sollecitazioni avviene per mezzo delle teorie classiche. Il calcolo degli spostamenti avviene tramite un'analisi elastica semplificata considerando lo schema di carico e di vincoli imposti dall'Utente.
- Analisi non lineare secondo un modello "a molle elasto – plastiche" per la parte terreno. La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:
 - si analizza un problema piano (nel piano y-z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
 - la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti beam verticali;
 - il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto – plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
 - si è adottato un valore dell'angolo di attrito terreno paratia, δ , pari $0.5 \varphi'$. In condizioni sismiche tale valore è nullo.
 - i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi beam ed elementi terreno.

Lo scopo di ParatiePlus è lo studio di un problema definito; in altre parole, il programma analizza la risposta, durante le varie fasi realizzative, di una parete caratterizzata in tutte le sue componenti (altezza, infissione e spessore della parete, entità dei tiranti, ecc.). Il problema è ricondotto a uno schema piano in cui viene analizzata una "fetta" di parete di larghezza unitaria, come mostrato nella Figura seguente.



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 elasto - plastici 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.

ParatiePlus calcola internamente e aggiorna costantemente tale parametro, sulla base del modulo elastico (Young) e la geometria del muro. In altre parole, ad ogni passo, la rigidità k della "molla" viene calcolata dalla seguente equazione:

$$k = a \cdot \frac{E_s \cdot t}{L}$$

dove

a è un fattore di scala posto pari a 1

E_s è il modulo di Young del terreno

t è l'interasse della molla

L è un parametro geometrico che tiene conto della geometria del muro

Il valore di L è differente in funzione del lato della paratia considerato (monte o valle):

$$L_M = 2/3 \cdot H' \cdot \tan(45^\circ - \phi/2)$$

$$L_V = 2/3 \cdot (H' - D) \cdot \tan(45^\circ + \phi/2)$$

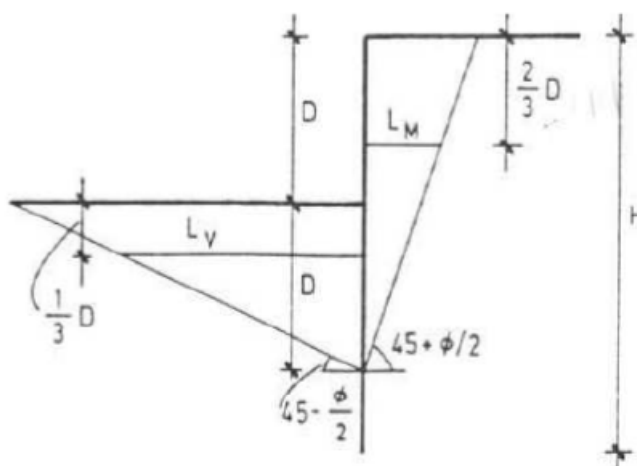
dove

D è la profondità di scavo

H è l'altezza totale del paramento

H' è definito come $\min(2D, H)$

Nella figura seguente viene riportato in via grafica il criterio per la definizione di L_M e L_V :



La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate e/o puntonate, 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 applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati, ecc.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto – plastico, 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)).

 Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
304817_S01_PD_TG- - _06_000_E0002	Relazione di calcolo delle paratie

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 soli gradi di libertà, cioè lo spostamento orizzontale e la rotazione attorno all'asse X ortogonale al piano della struttura (positiva se antioraria).

Ne consegue che con questo strumento non possono essere valutati cedimenti o innalzamenti verticali del terreno in vicinanza dello scavo.

In questa impostazione particolare, inoltre, gli sforzi verticali nel terreno non sono per ipotesi influenzati dal comportamento deformativo orizzontale, ma sono una variabile del tutto indipendente, legata ad un calcolo basato sulle classiche ipotesi di distribuzione geostatica.

I contrasti sono schematizzati mediante elementi finiti che divengono attivi a partire dal momento in cui vengono inseriti. L'inserimento di tali elementi provoca nel modello due effetti:

l'insorgenza di una forza nel nodo di applicazione, corrispondente alla forza di coazione eventualmente imposta e la modifica della rigidezza globale della struttura (matrice di rigidezza assemblata) attraverso l'aggiunta di un contributo pari alla rigidezza del contrasto.

Quando, nelle fasi successive, in corrispondenza del nodo ove il contrasto è connesso viene a modificarsi lo spostamento, lo stato di sollecitazione nel tirante/puntone subirà incrementi pari all'incremento di spostamento moltiplicato per la rigidezza. Nelle equazioni di equilibrio si tiene ovviamente conto delle variazioni di sforzo nei contrasti.

Si riportano nel seguito i modelli di calcolo per le differenti paratie analizzate.

9 MODELLO 1

Il modello 1 rappresenta la paratia tra la pk 105+500 e la pk 105+750.

La Figura 6 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

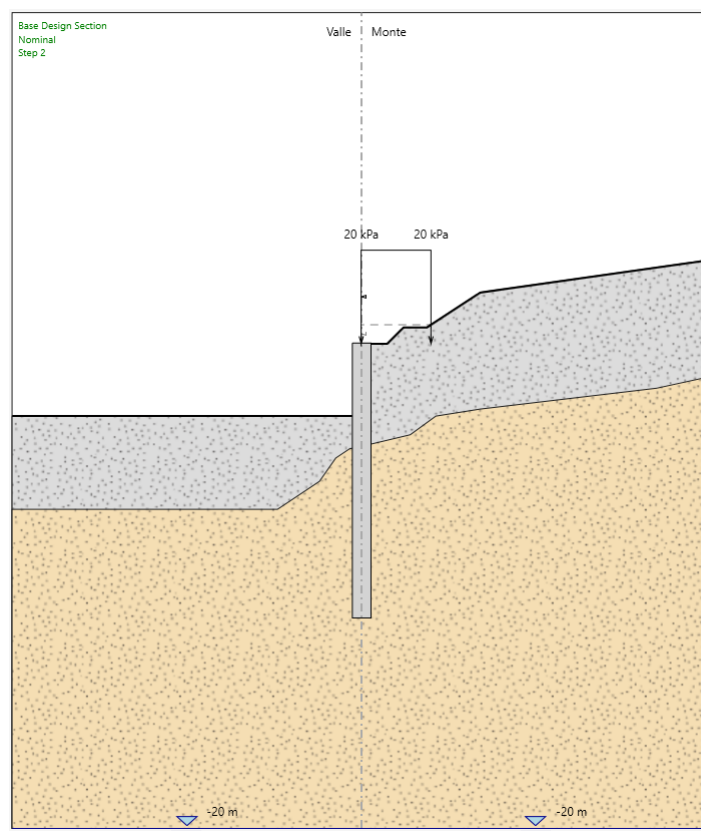


Figura 6 – Modello di calcolo 1.

In Tabella 14 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 15.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 2.3$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 14 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 105+500 e la pk 105+750.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 1.4$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 2.3 + 1.4 = 3.7$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 5	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	5 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 15 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 16 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.128	0.92	1.00	0.1178

Tabella 16 – Parametri per l'analisi sismica.

9.1.1 FASI DI CALCOLO

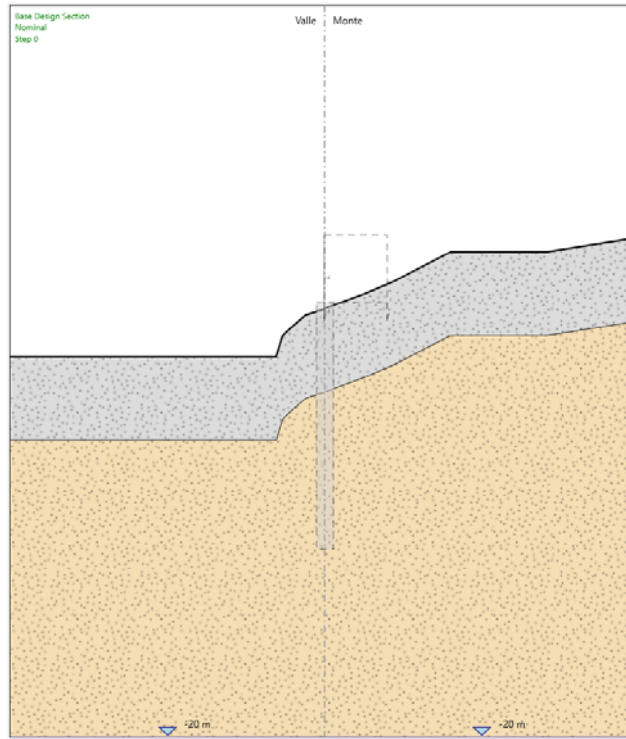


Figura 7 – Step 0: stato attuale.

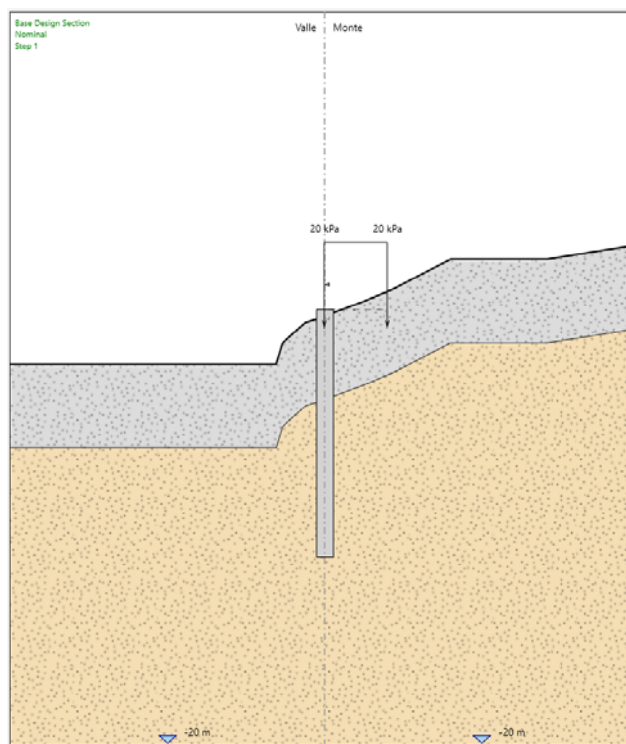


Figura 8 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

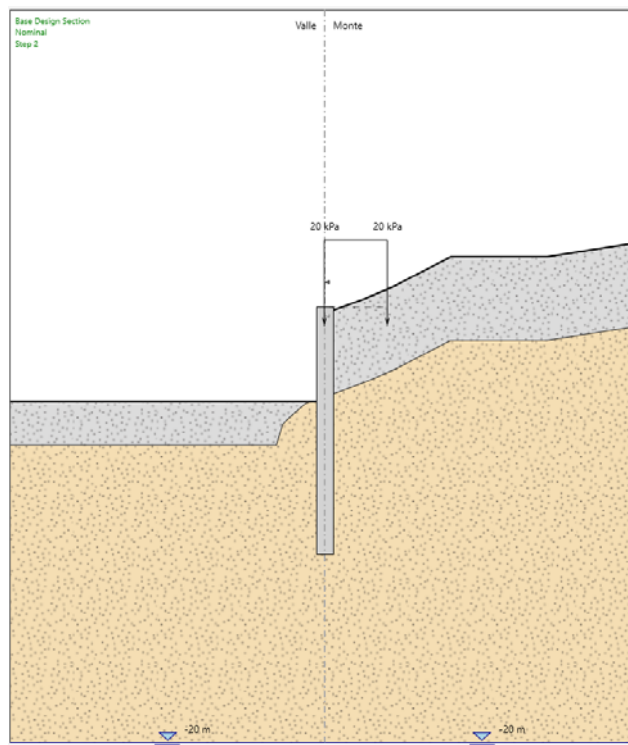


Figura 9 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-2.3 m da TP).

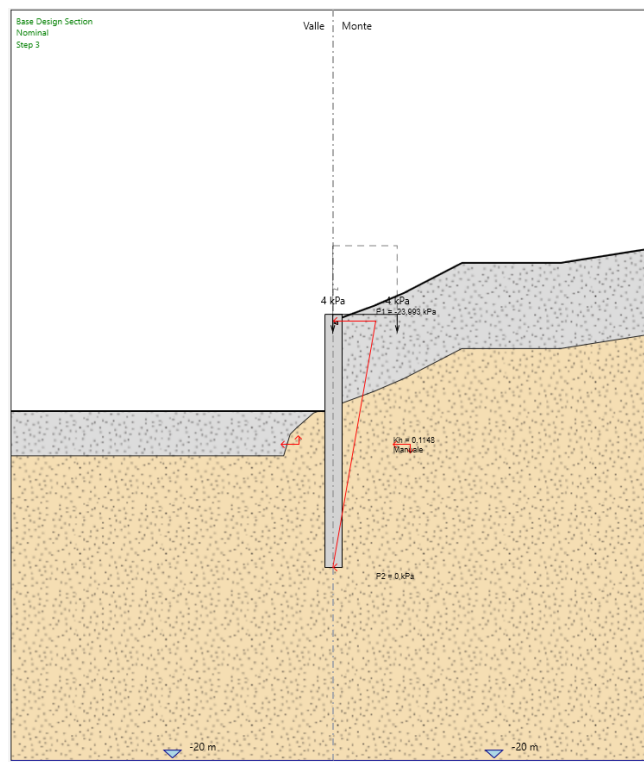


Figura 10 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

9.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

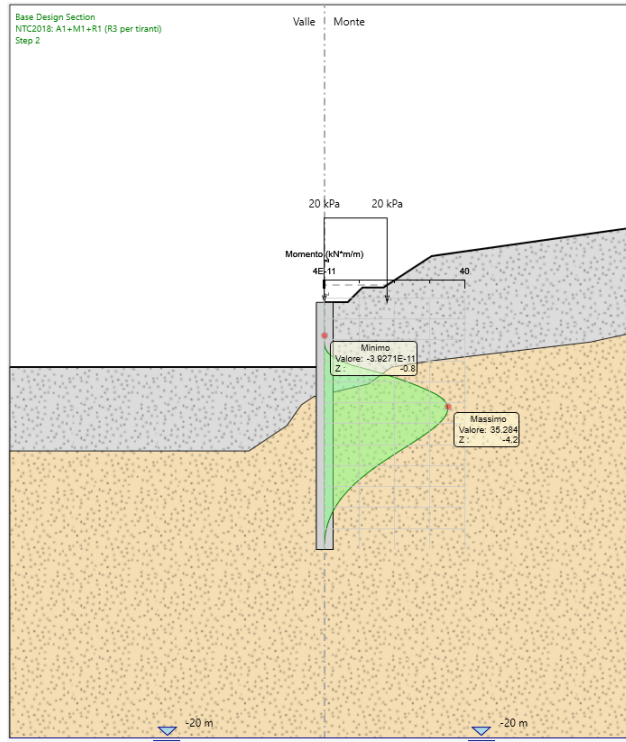


Figura 11 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

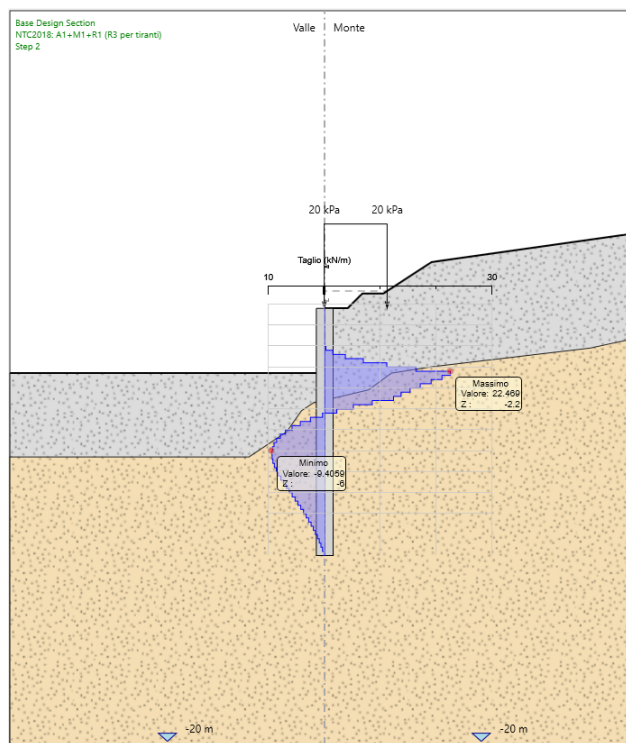


Figura 12 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

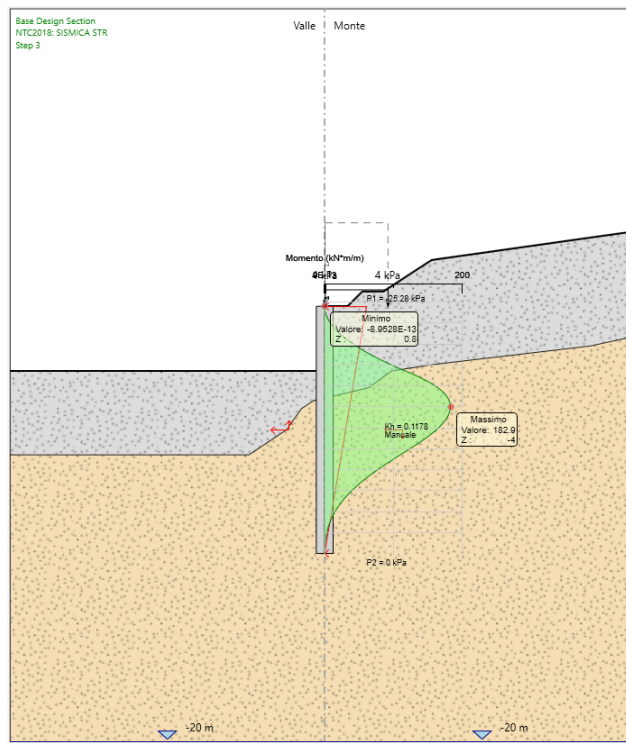


Figura 13 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

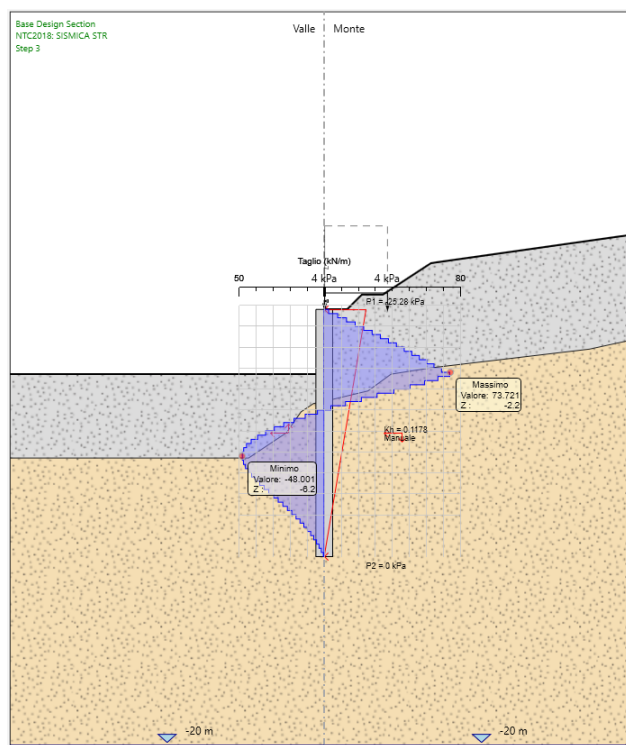


Figura 14 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

9.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-4.2	35.3		35.3	52.8	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-2.2	8.0	22.5	8.0	27.6	22.5
SISMICA STR	Step 3	-4	182.9		182.9	50.3	0.0
SISMICA STR	Step 3	-2.2	110.9	73.7	110.9	27.6	73.7
SLE Rara	Step 2	-4.2	25.4		25.4	52.8	0.0

Tabella 17 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

9.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 17. I pali hanno un'armatura corrente di 16 ϕ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 17

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	32.00	20	16

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5027	18290	0	0	0
2	2765	11088	0	7372	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	5278	2538	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	5027	18290	0	5016	48770	0	2.667
2	S	2765	11088	0	2749	48219	0	4.349

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00326	0.0	40.0	0.00192	0.0	32.0	-0.01070	0.0	-32.0
2	0.00350	-0.00334	0.0	40.0	0.00190	0.0	32.0	-0.01086	0.0	-32.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000197263	-0.004390532		
2	0.000000000	0.000199506	-0.004480259		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	80	mm		
rs	320	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406953	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	603.7	mm	fck	24.9
bw	674.1	mm	γ_c	1.5
$1 + (200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576		As	15	ϕ	16.0
Asl	3016	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.007					
ρ_l	0.007		VRd	203.32	kN	
vmin	0.345		VEd	73.72	kN	
vmin · bw · d	140.6	kN	VRd/VEd	2.76	-	
Vrd	203.3	kN	VERIFICATO			

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]										
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]										
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre										
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm										
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni										
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm										

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	5.3	0.0	0.0	-38	0.0	-32.0	0	0		0.000

9.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 15, Figura 16 e Figura 17 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.123 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 3.344 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

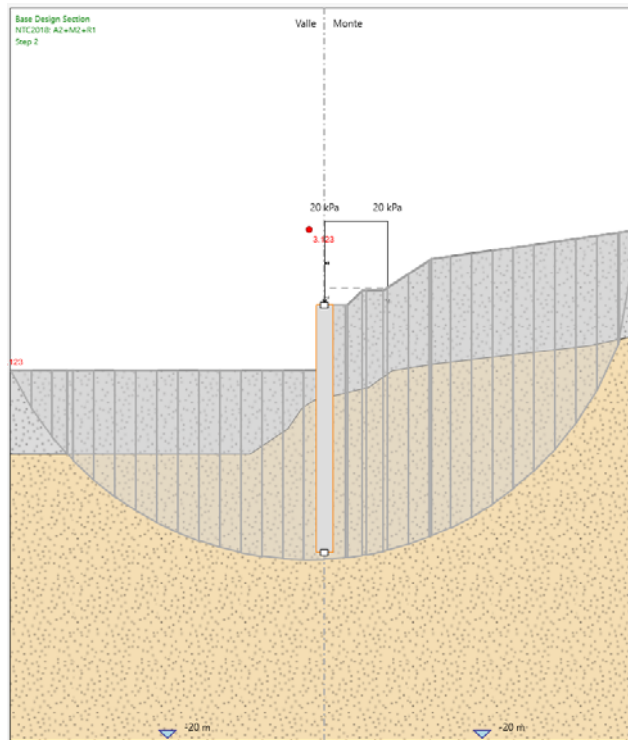


Figura 15 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 3.123).

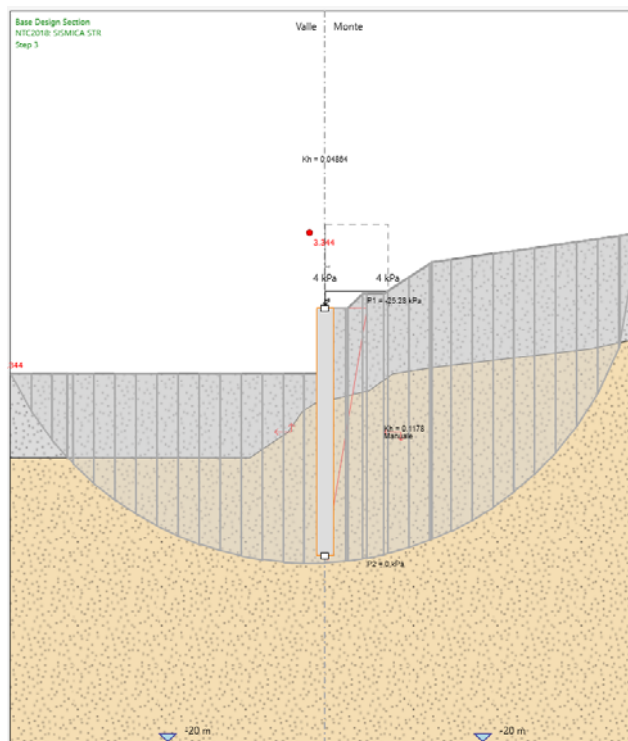


Figura 16 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo.(FS = 3.344).

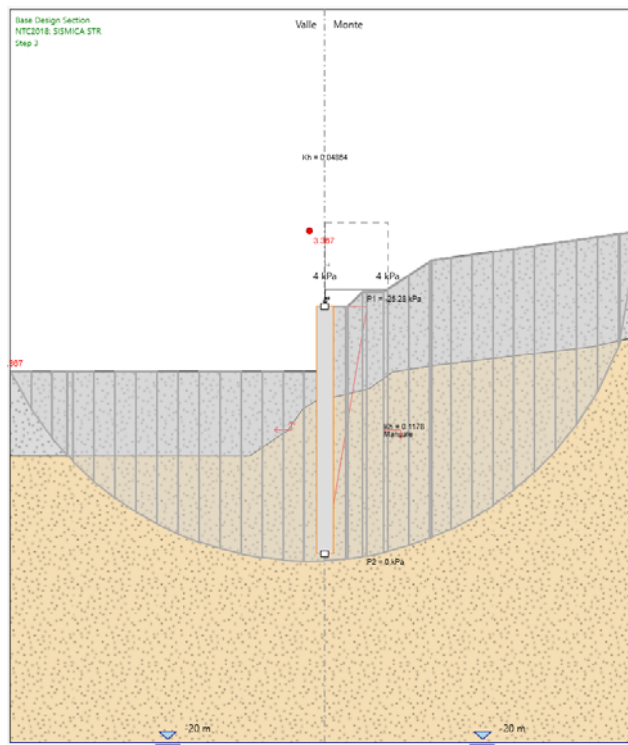


Figura 17 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 3.367).

9.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.56	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 3)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.48	D.A. SISMICA GEO (Step 3)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 56 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

9.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 18 e nella Figura 19 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 1.2 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 2.8 mm e sia ha in testa alla paratia.

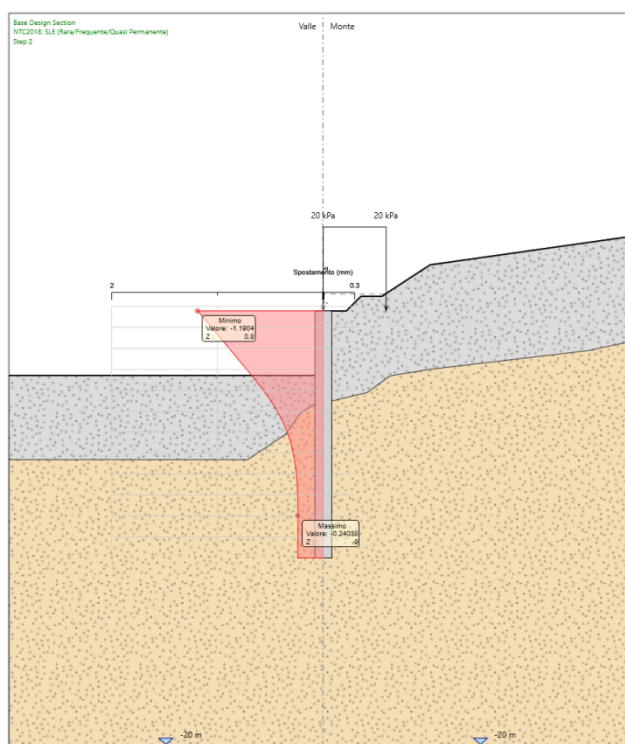


Figura 18 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 1.2$ mm).

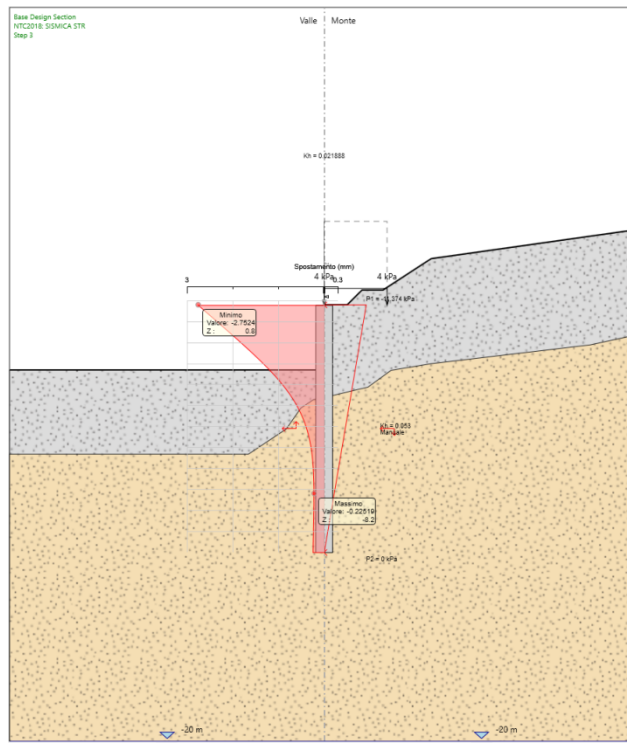


Figura 19 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 2.8$ mm).

10 MODELLO 2

Il modello 2 rappresenta la paratia tra la pk 107+166 e la pk 107+700.

La Figura 20 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

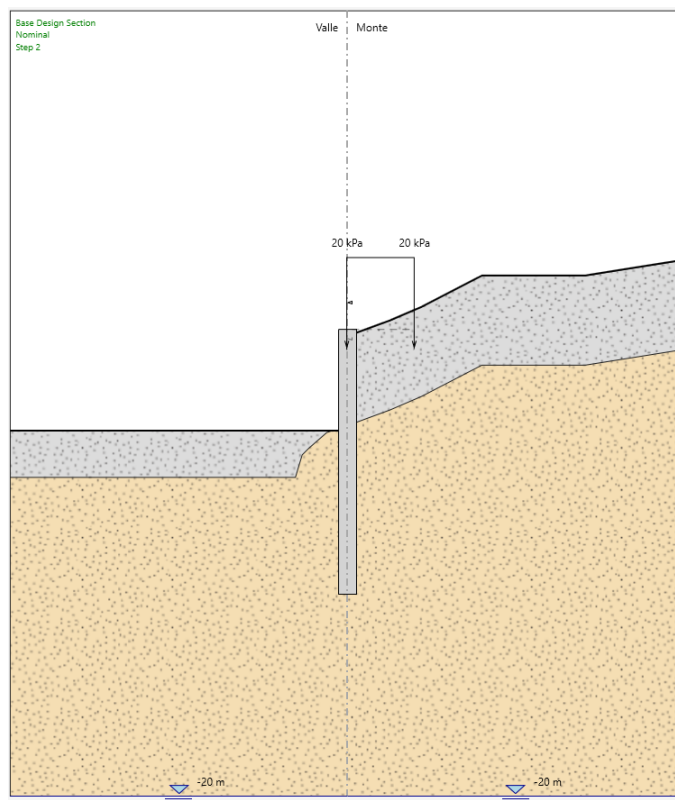


Figura 20 – Modello di calcolo 2.

In Tabella 18 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 19.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 3.7$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 18 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 107+166 e la pk 107+700.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 0.5$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 3.7 + 0.5 = 4.2$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 4	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	4 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 19 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 20 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.125	0.92	1.00	0.1148

Tabella 20 – Parametri per l'analisi sismica.

10.1.1 FASI DI CALCOLO

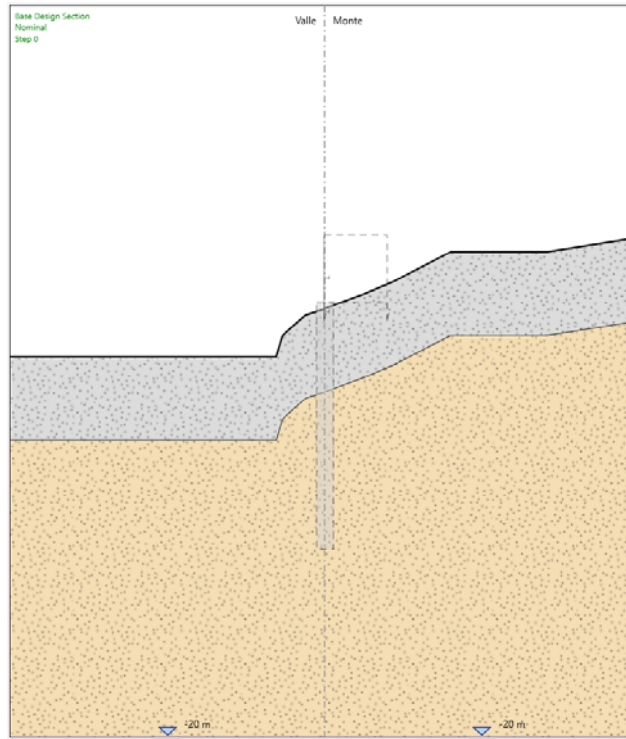


Figura 21 – Step 0: stato attuale.

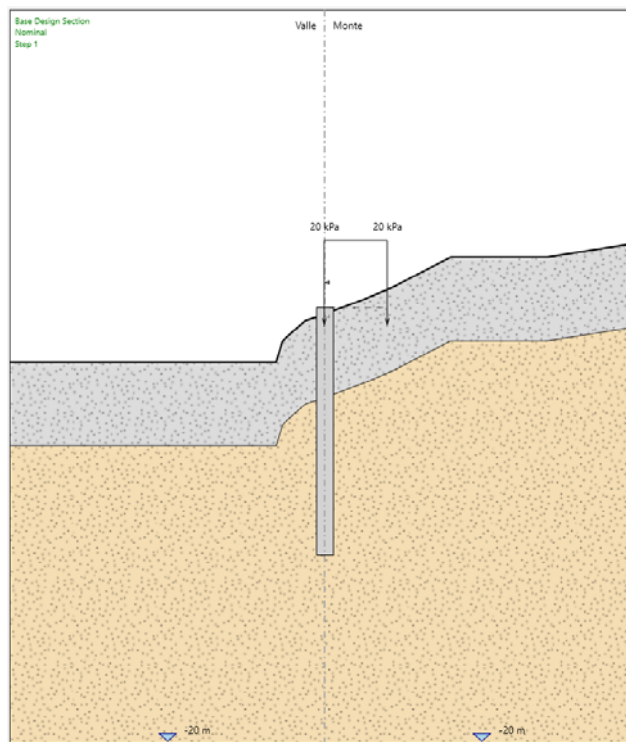


Figura 22 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

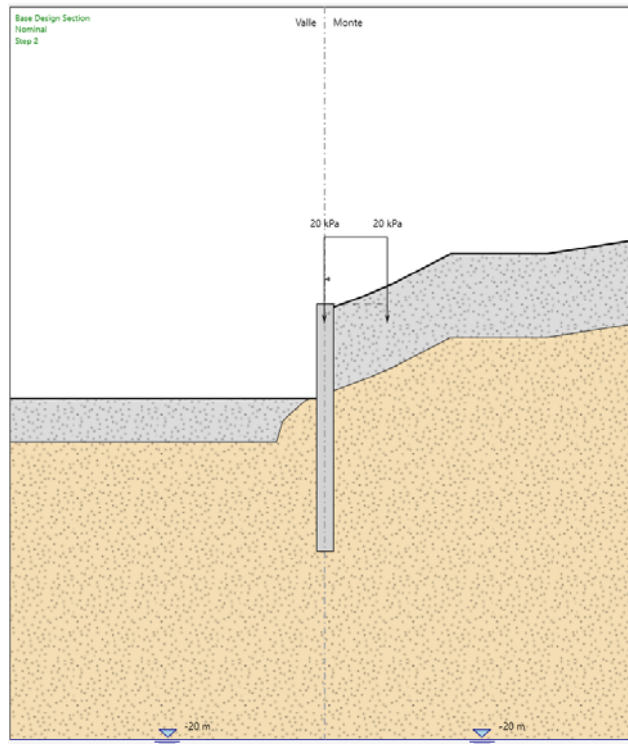


Figura 23 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-3.7 m da TP).

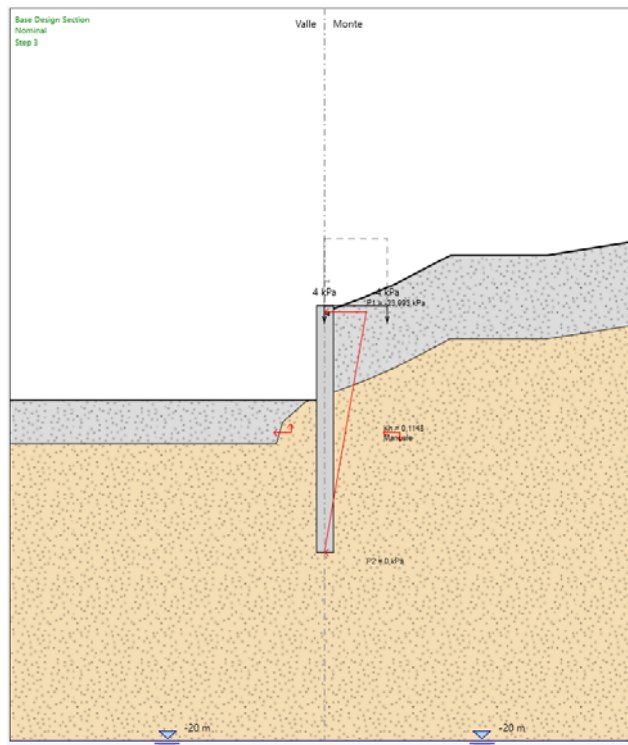


Figura 24 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

10.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

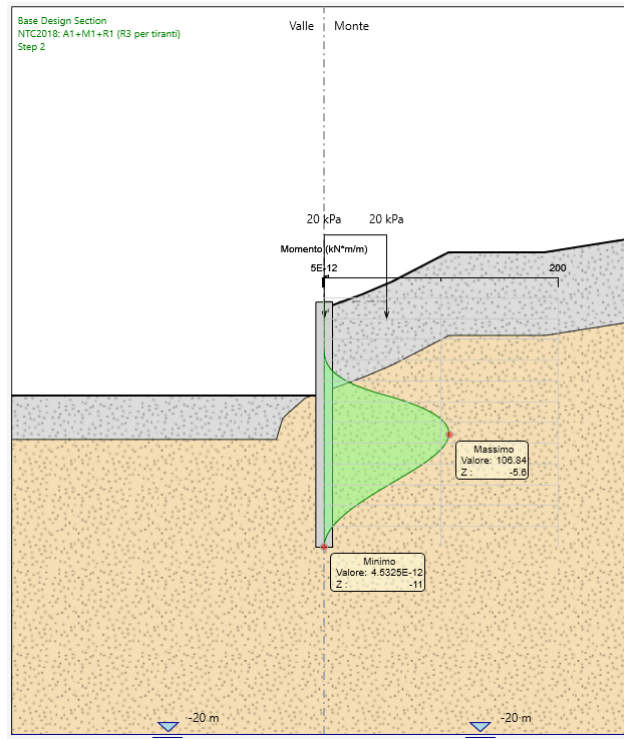


Figura 25 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

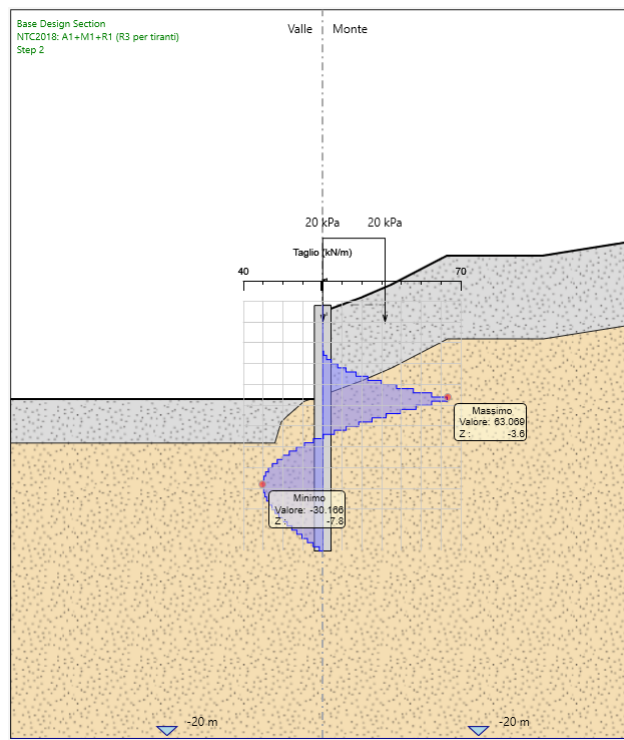


Figura 26 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

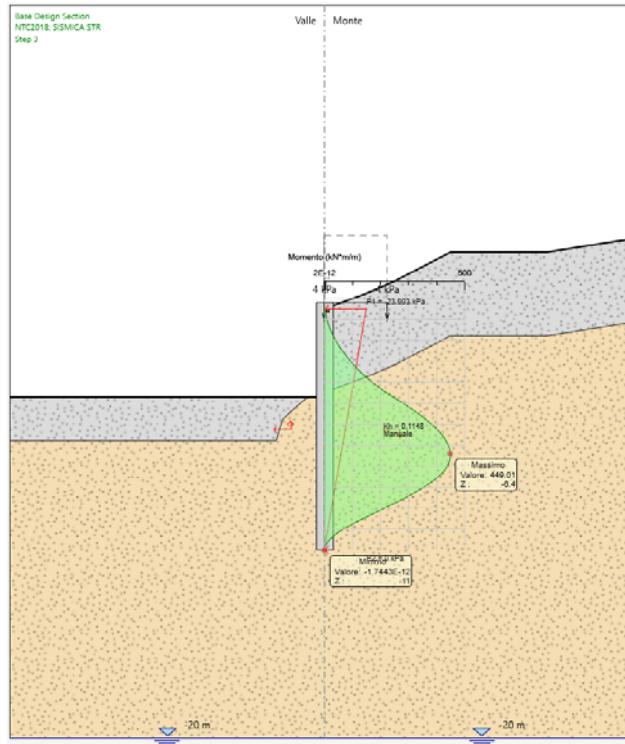


Figura 27 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

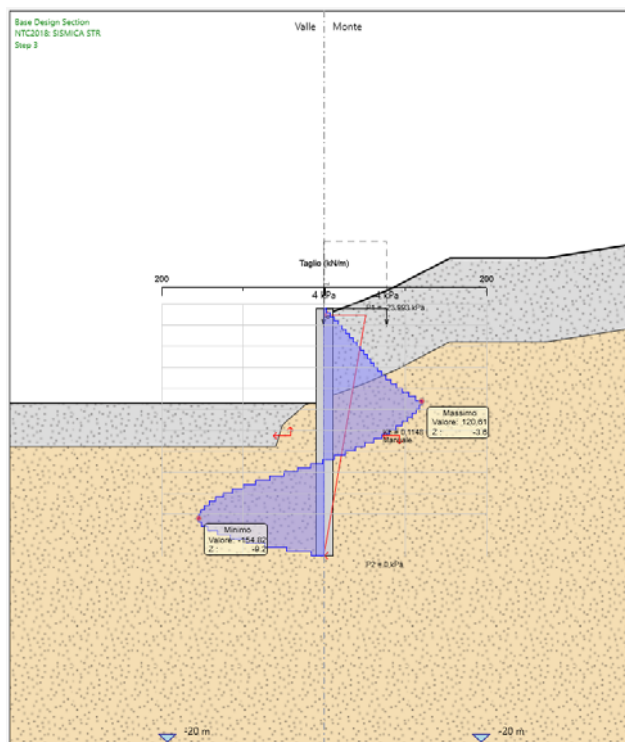


Figura 28 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

10.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-5.6	106.8		106.8	70.4	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-3.6	47.0	63.1	47.0	45.2	63.1
SISMICA STR	Step 3	-6.4	449.0		449.0	80.4	0.0
SISMICA STR	Step 3	-9.2	185.5	154.8	185.5	115.6	154.8
SLE Rara	Step 2	-5.6	79.1		79.1	70.4	0.0

Tabella 21 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

10.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 21. I pali hanno un'armatura corrente di 16 ϕ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 19

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	31.80	16	20

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	8043	44901	0	0	0
2	11561	18545	0	15482	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	7037	7914	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	8043	44901	0	8040	59173	0	1.318
2	S	11561	18545	0	11547	59904	0	3.230

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00262	0.0	40.0	0.00204	0.0	31.8	-0.00931	0.0	-31.8
2	0.00350	-0.00254	0.0	40.0	0.00206	0.0	31.8	-0.00914	0.0	-31.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000178386	-0.003635454		
2	0.000000000	0.000176108	-0.003544312		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	82	mm		
rs	318	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406076	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	602.4	mm	fck	24.9
bw	674.0	mm	γ_c	1.5
$1+(200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576		As	11	ϕ	20.0
Asl	3456	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.009					
ρ_l	0.009		VRd	212.54	kN	
vmin	0.346		VEd	154.82	kN	
vmin · bw · d	140.3	kN	VRd/VEd	1.37	-	
Vrd	212.5	kN	VERIFICATO			

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]										
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]										
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre										
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm										
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni										
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm										

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	14.5	0.0	0.0	-140	0.0	-31.8	0	0		0.000

10.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 29, Figura 30 e Figura 31 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 2.593 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 2.844 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

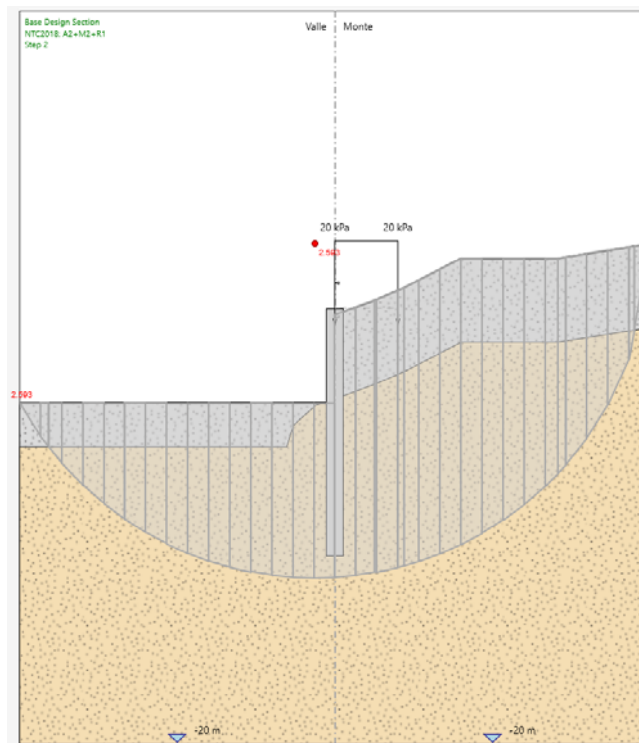


Figura 29 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 2.593).

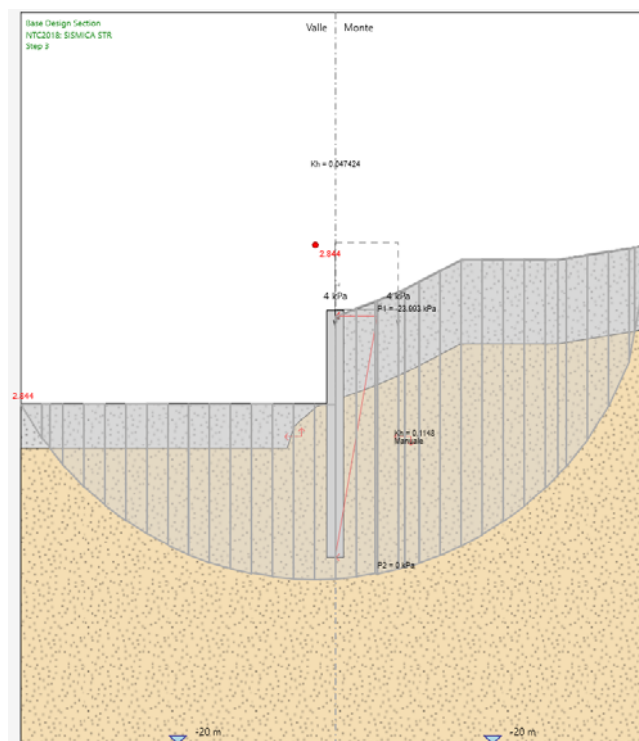


Figura 30 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k, positivo.(FS = 2.844).

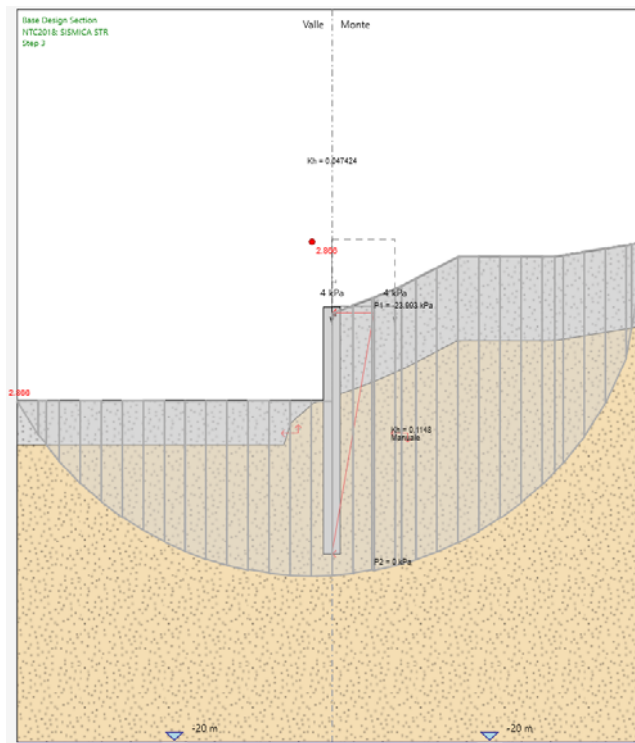


Figura 31 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 2.866).

10.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.71	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 3)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.62	D.A. SISMICA GEO (Step 3)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 71 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

10.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 32 e nella Figura 33 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 4.6 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 11.8 mm e sia ha in testa alla paratia.

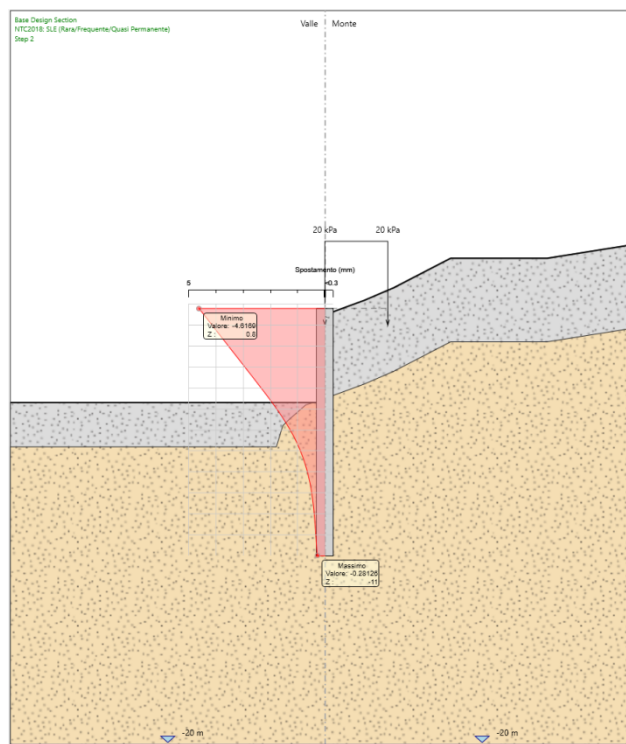


Figura 32 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 4.6$ mm).

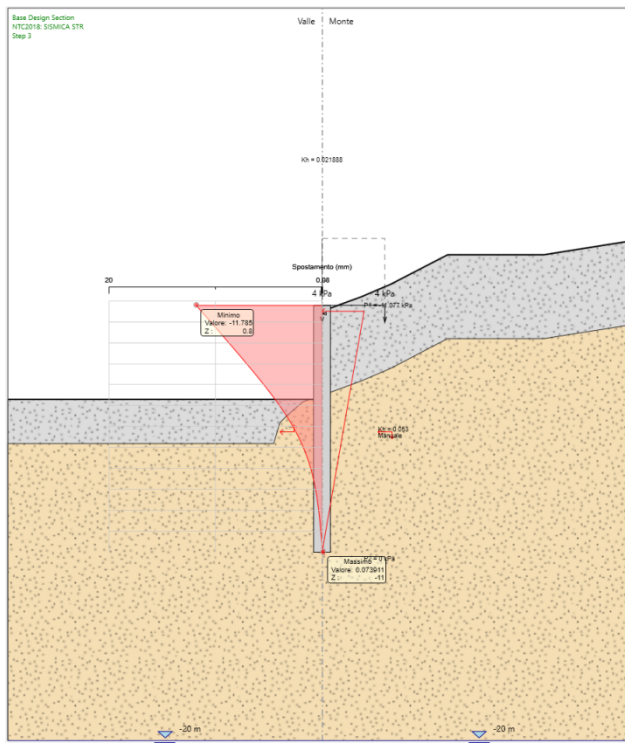


Figura 33 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{n,max} = 11.8$ mm).

11 MODELLO 3

Il modello 3 rappresenta la paratia tra la pk 113+480 e la pk 113+543.

La Figura 34 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

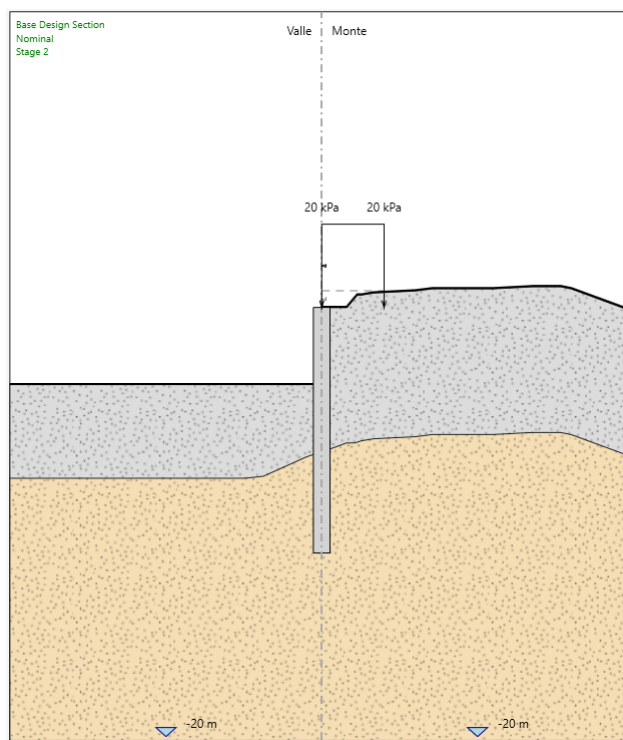


Figura 34 – Modello di calcolo 3.

In Tabella 22 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 23.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 2.9$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 22 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 113+480 e la pk 113+543.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 0.9$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 2.9 + 0.9 = 3.8$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 7	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	7 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 23 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 24 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.114	0.92	1.00	0.1045

Tabella 24 – Parametri per l'analisi sismica.

11.1.1 FASI DI CALCOLO

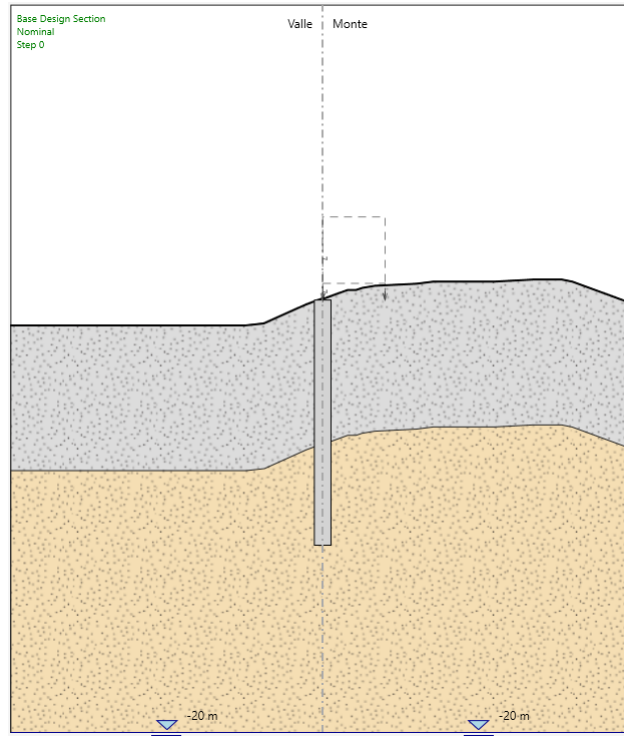


Figura 35 – Step 0: stato attuale.

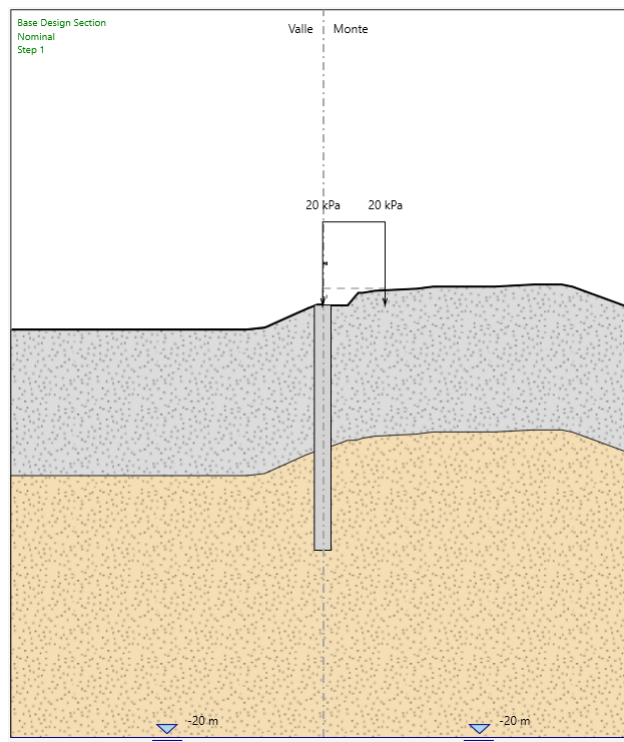


Figura 36 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

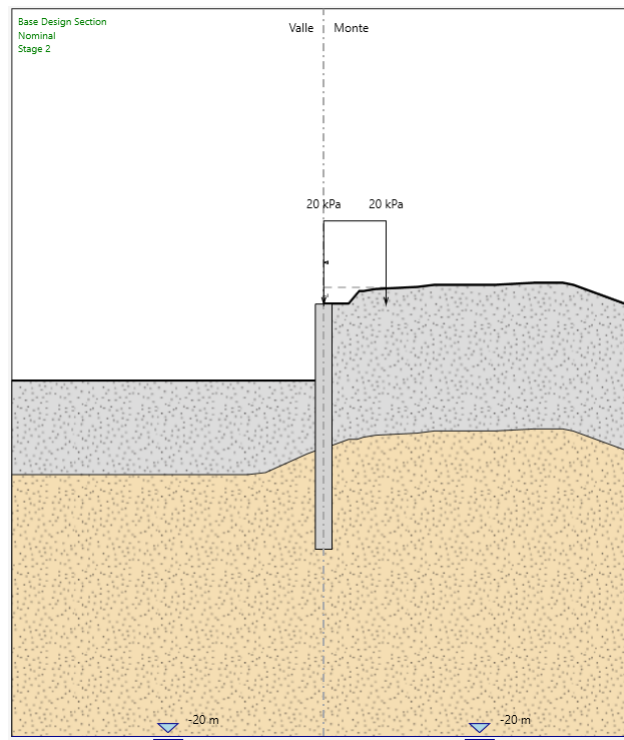


Figura 37 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-2.9 m da TP).

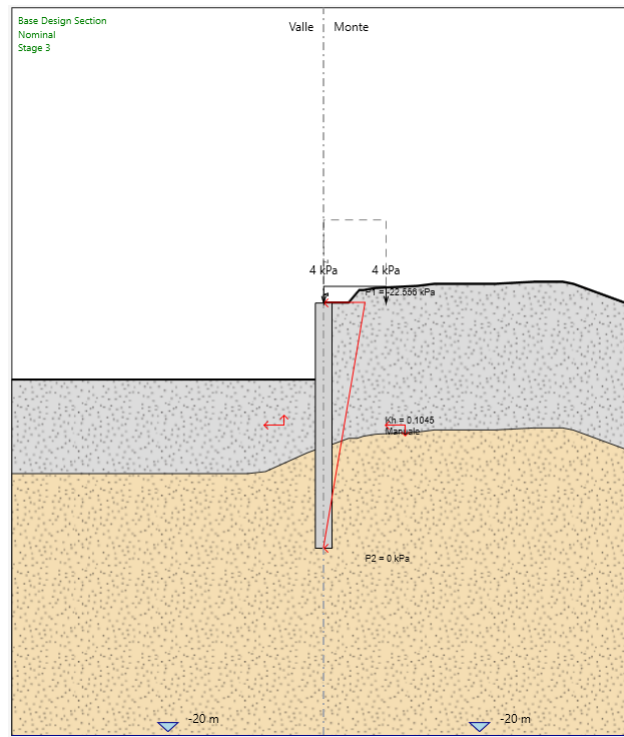


Figura 38 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

11.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

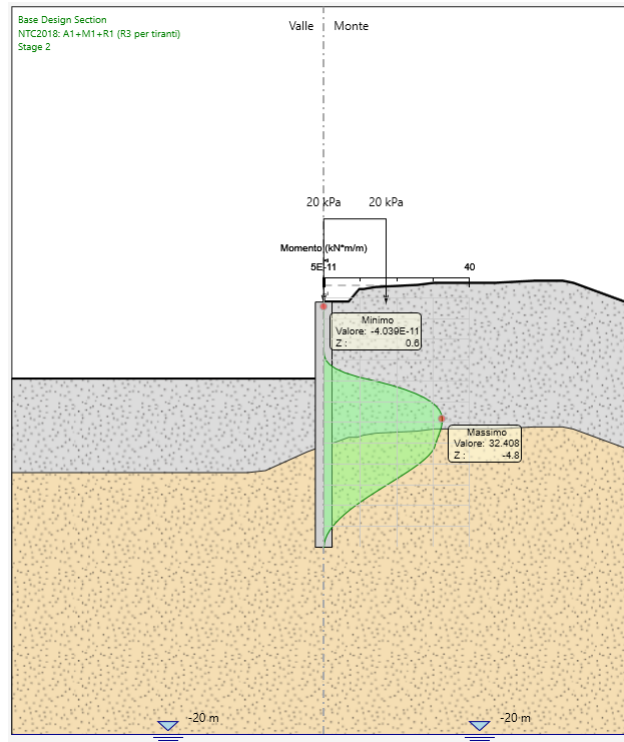


Figura 39 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

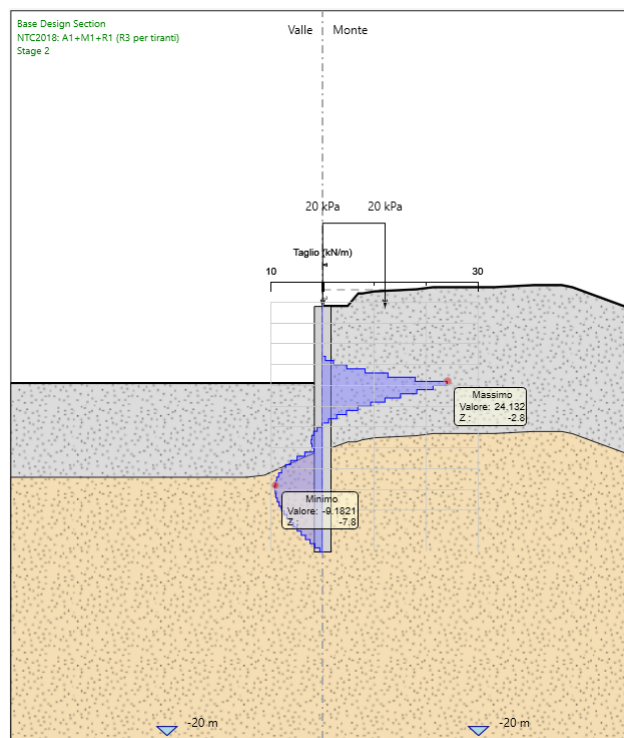


Figura 40 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

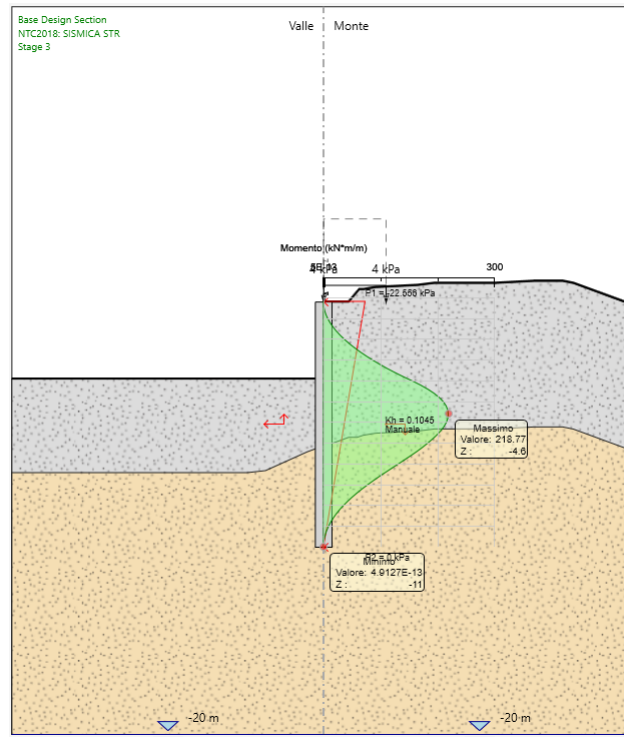


Figura 41 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

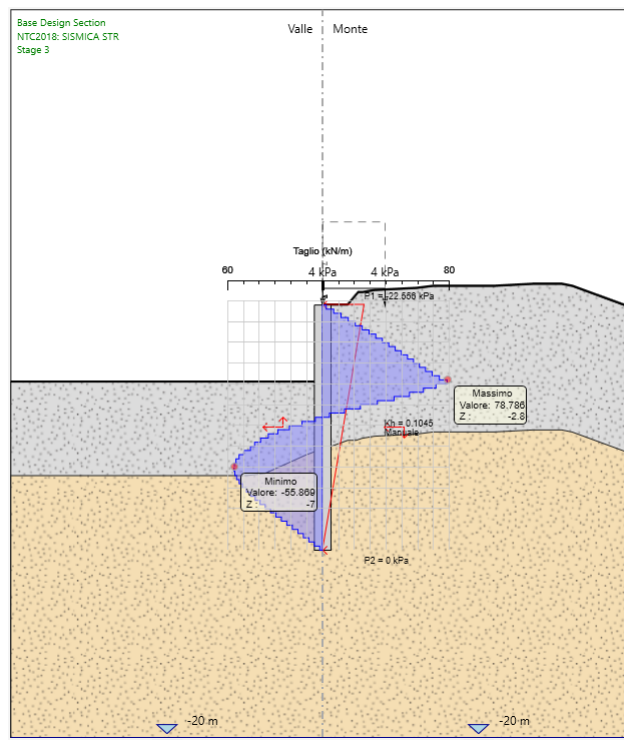


Figura 42 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

11.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-4.8	32.4		32.4	60.3	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-2.8	9.3	24.1	9.3	35.2	24.1
SISMICA STR	Step 3	-4.6	218.8		218.8	57.8	0.0
SISMICA STR	Step 3	-2.8	140.5	78.8	140.5	35.2	78.8
SLE Rara	Step 2	-4.8	23.6		23.6	60.3	0.0

Tabella 25 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

11.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 25. I pali hanno un'armatura corrente di 16 ϕ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copriferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 22

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

 Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

 Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	32.00	20	16

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	5781	21877	0	0	0
2	3519	14050	0	7879	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	6032	2356	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	5781	21877	0	5757	48949	0	2.237
2	S	3519	14050	0	3509	48404	0	3.445

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00324	0.0	40.0	0.00193	0.0	32.0	-0.01065	0.0	-32.0
2	0.00350	-0.00331	0.0	40.0	0.00191	0.0	32.0	-0.01081	0.0	-32.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000196573	-0.004362924		
2	0.000000000	0.000198759	-0.004450350		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	80	mm		
rs	320	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406953	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	603.7	mm	fck	24.9
bw	674.1	mm	γ_c	1.5
$1 + (200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576		As	15	ϕ	16.0
Asl	3016	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.007					
ρ_l	0.007		VRd	203.32	kN	
vmin	0.345		VEd	78.79	kN	
vmin · bw · d	140.6	kN	VRd/VEd	2.58	-	
Vrd	203.3	kN	VERIFICATO			

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	5.1	0.0	0.0	-33	0.0	-32.0	0	0		0.000

11.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 43, Figura 44 e Figura 45 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.823 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 4.168 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

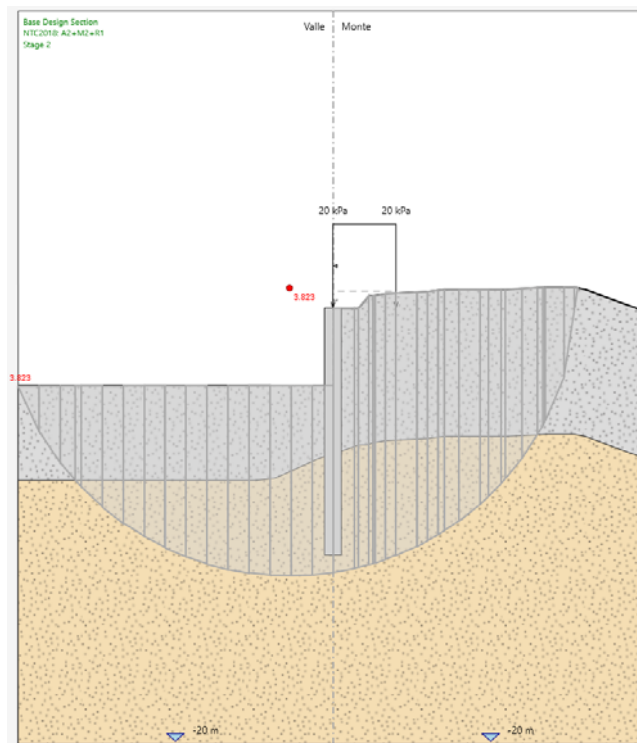


Figura 43 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 3.823).

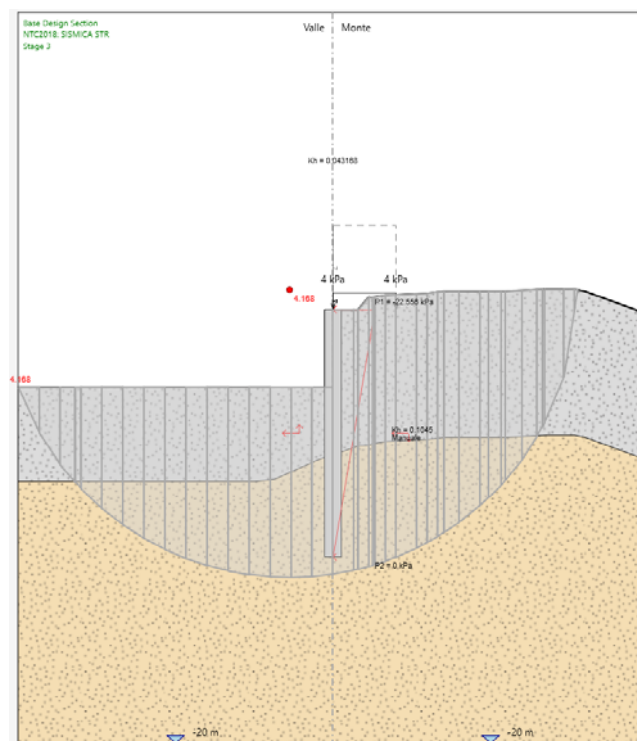


Figura 44 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo.(FS = 4.168).

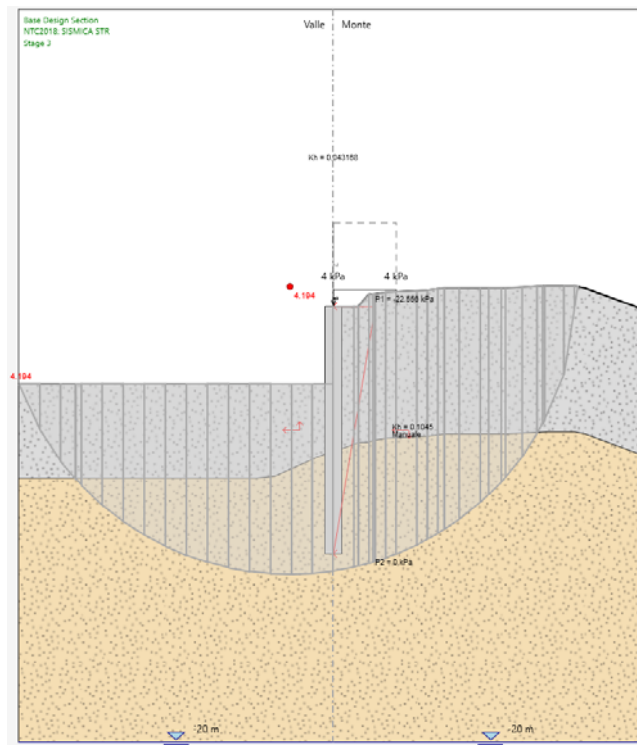


Figura 45 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 4.194).

11.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.47	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 3)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.48	D.A. SISMICA GEO (Step 3)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 48 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

11.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 46 e nella Figura 47 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 1.7 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 4.3 mm e sia ha in testa alla paratia.

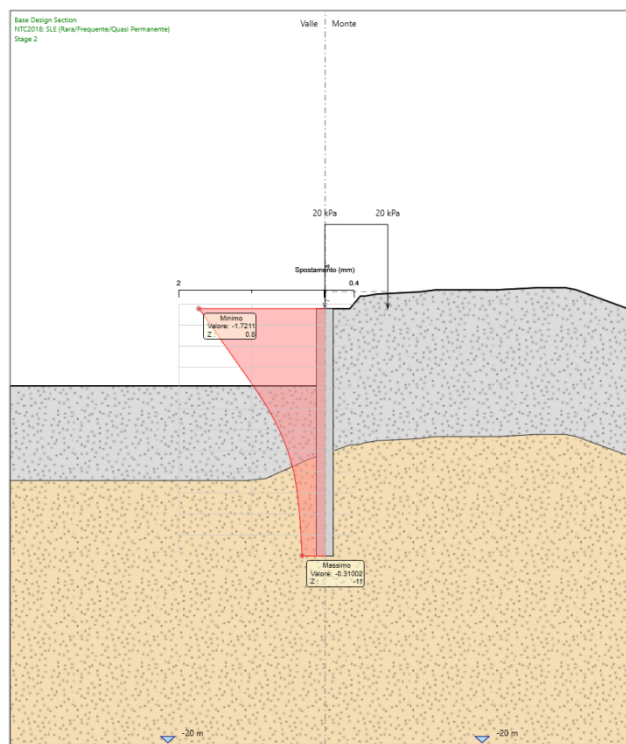


Figura 46 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 1.7$ mm).

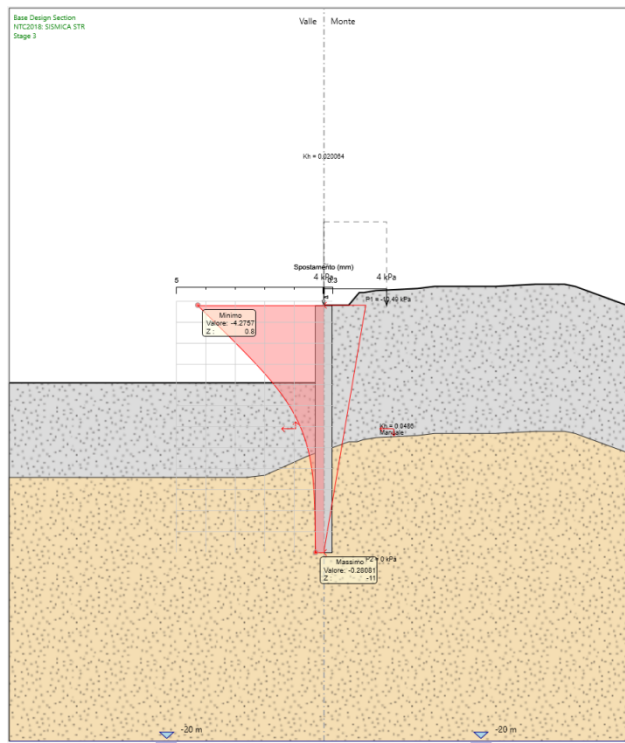


Figura 47 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 4.3$ mm).

12 MODELLO 4

Il modello 4 rappresenta la paratia tra la pk 87+604 e la pk 87+645.

La Figura 48 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

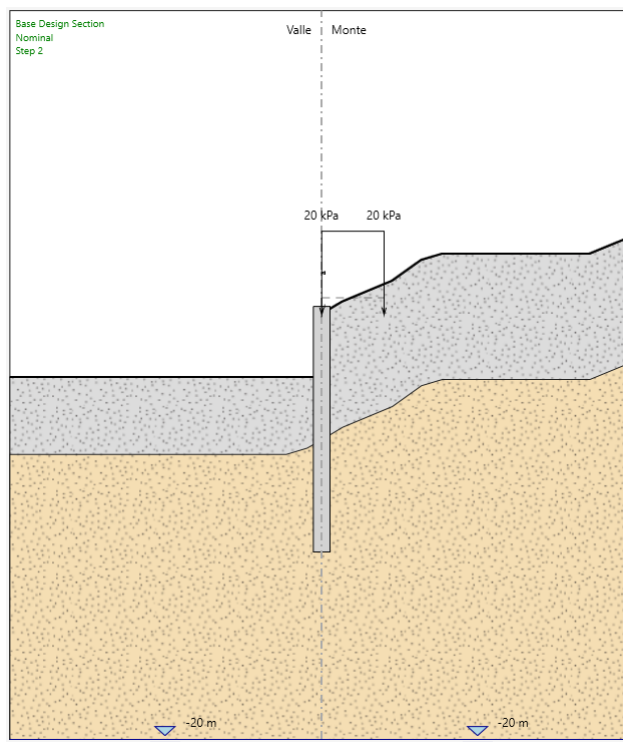


Figura 48 – Modello di calcolo 4.

In Tabella 26 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 27.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 2.6$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 26 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 87+604 e la pk 87+645.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 0.4$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 2.6 + 0.4 = 3.0$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 6	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	6 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 27 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 28 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.187	0.92	1.00	0.1722

Tabella 28 – Parametri per l'analisi sismica.

12.1.1 FASI DI CALCOLO

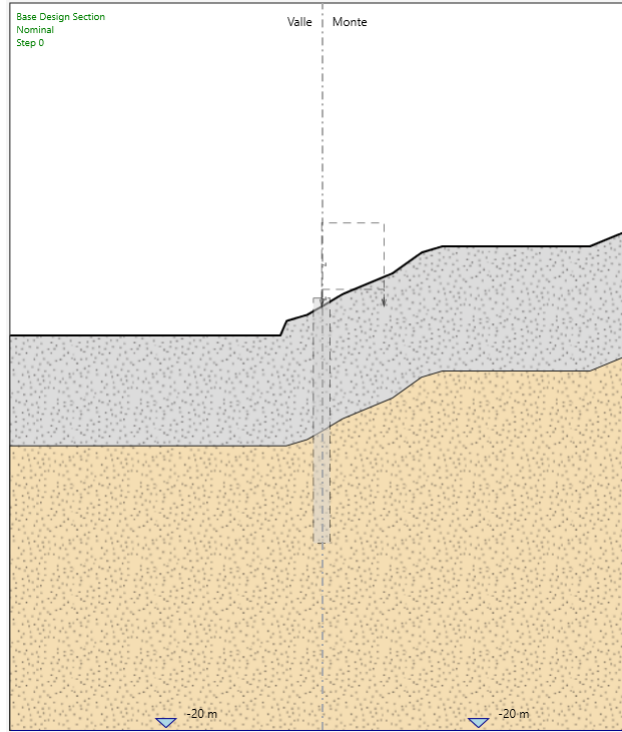


Figura 49 – Step 0: stato attuale.

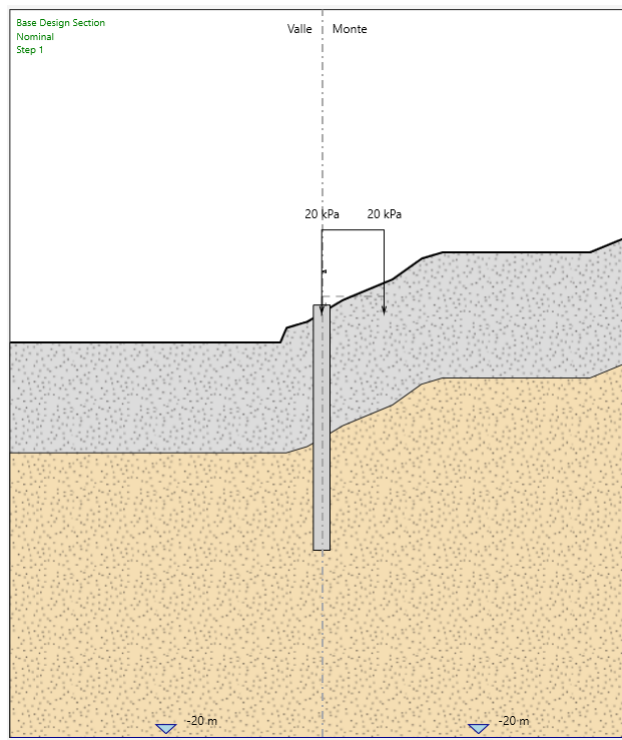


Figura 50 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

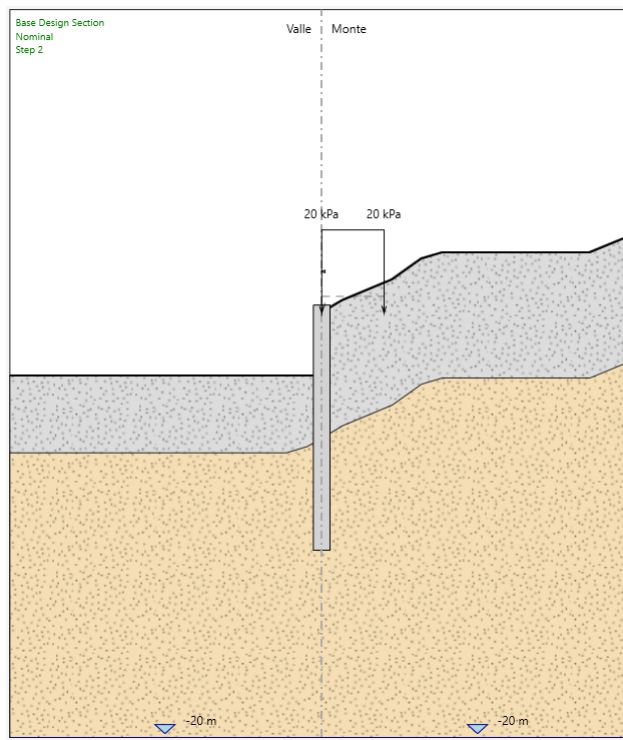


Figura 51 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-2.6 m da TP).

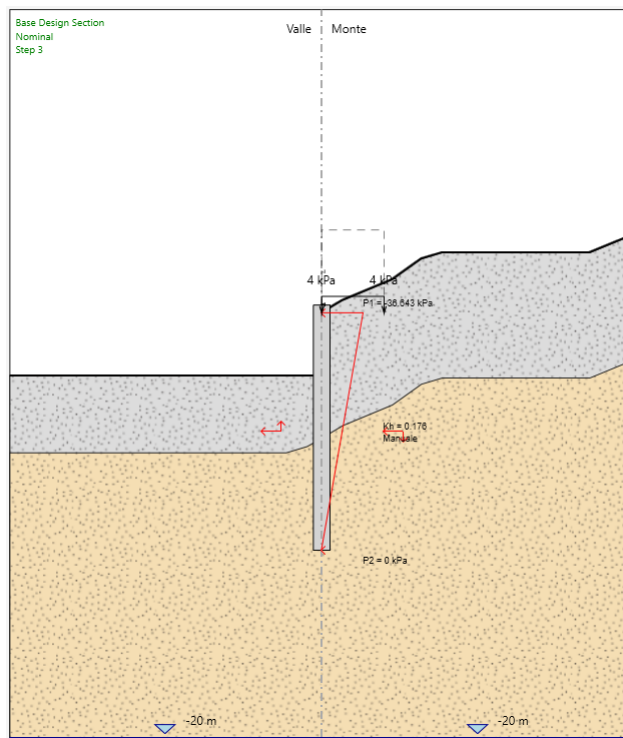


Figura 52 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

12.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

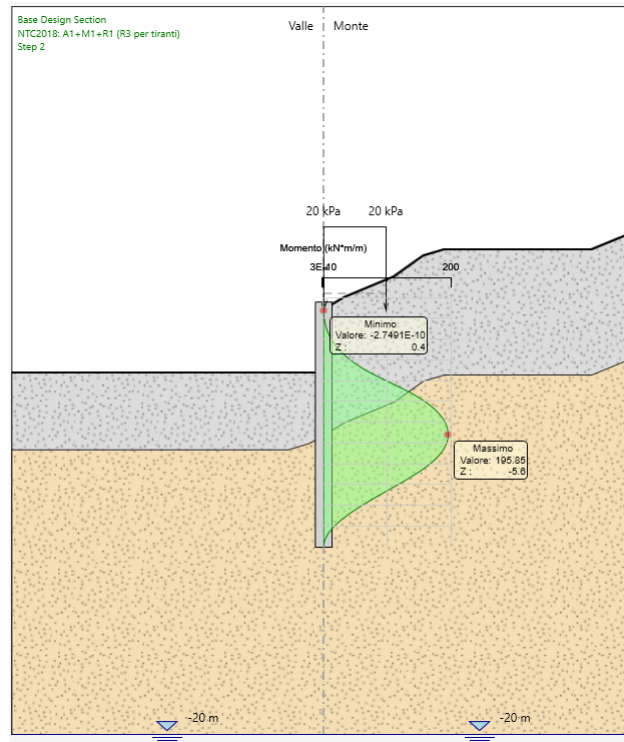


Figura 53 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

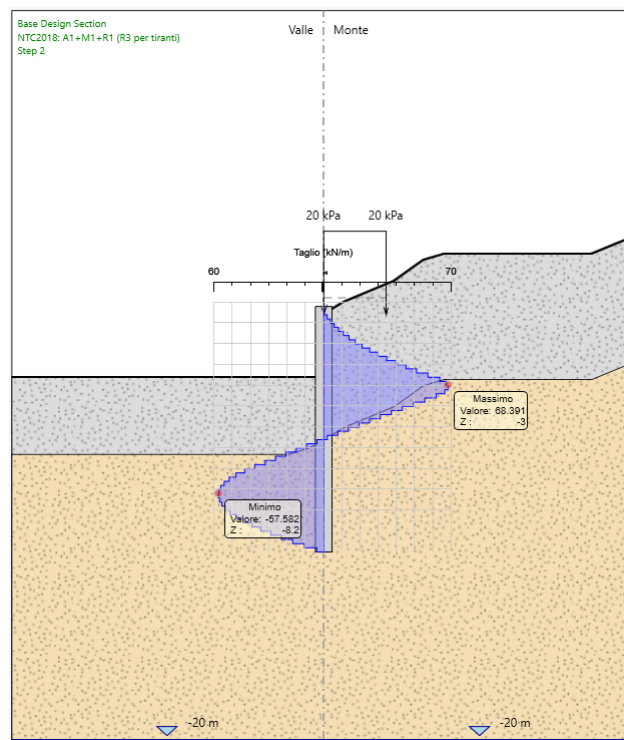


Figura 54 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

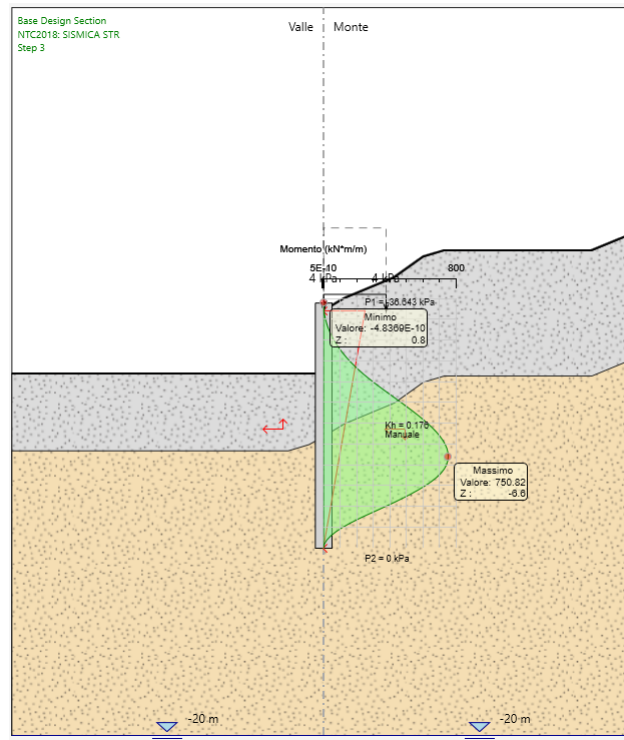


Figura 55 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

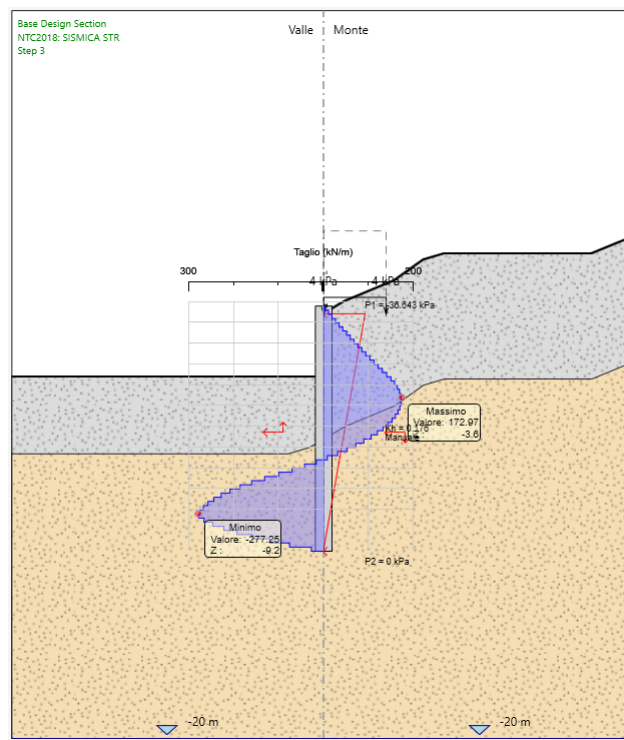


Figura 56 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

12.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-5.6	195.9		195.9	70.4	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-3	99.5	68.4	99.5	37.7	68.4
SISMICA STR	Step 3	-6.6	750.8		750.8	82.9	0.0
SISMICA STR	Step 3	-9.2	315.8	277.3	315.8	115.6	277.3
SLE Rara	Step 2	-5.6	138.6		138.6	70.4	0.0

Tabella 29 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

12.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 29. I pali hanno un'armatura corrente di 16φ20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale φ12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 10

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	31.80	24	20

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	8294	75082	0	0	0
2	11561	31582	0	27725	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	7037	13858	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.3 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	8294	75082	0	8285	82801	0	1.103
2	S	11561	31582	0	11566	83399	0	2.641

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00181	0.0	40.0	0.00223	0.0	31.8	-0.00762	0.0	-31.8
2	0.00350	-0.00176	0.0	40.0	0.00224	0.0	31.8	-0.00751	0.0	-31.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000154851	-0.002694038		
2	0.000000000	0.000153380	-0.002635199		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	82	mm		
rs	318	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406076	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	602.4	mm	fck	24.9
bw	674.0	mm	γ_c	1.5
$1 + (200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576	As	17	ϕ	20.0
Asl	5341	mm ²			
Asl/(bw · d)	0.013				
p1	0.013	VRd	245.73	kN	
vmin	0.346	VEd	277.25	kN	
vmin · bw · d	140.3	VRd/VEd	0.89	-	
Vrd	245.7	NON VERIFICATO			

ARMATURE A TAGLIO DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 24.0]
N.Bracci staffe:	2	
Area staffe/m :	11.3 cm ² /m	[Area Staffe Minima normativa = 2.4]

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiezione di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro
Vru	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vcd	Taglio [daN] assorbito dal conglomerato nel calcolo delle staffe
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Afst	Area staffe strettamente necessarie a taglio per metro di trave [cm ² /m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	0	137434	23588	59.2	72.0	45.00°	1.012	0.0
2	S	27725	95212	58970	59.2	72.0	21.80°	1.016	5.3

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	22.6	0.0	0.0	-239	0.0	-31.8	0	0		0.000

12.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 57, Figura 58 e Figura 59 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In

condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.1 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 3.12 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

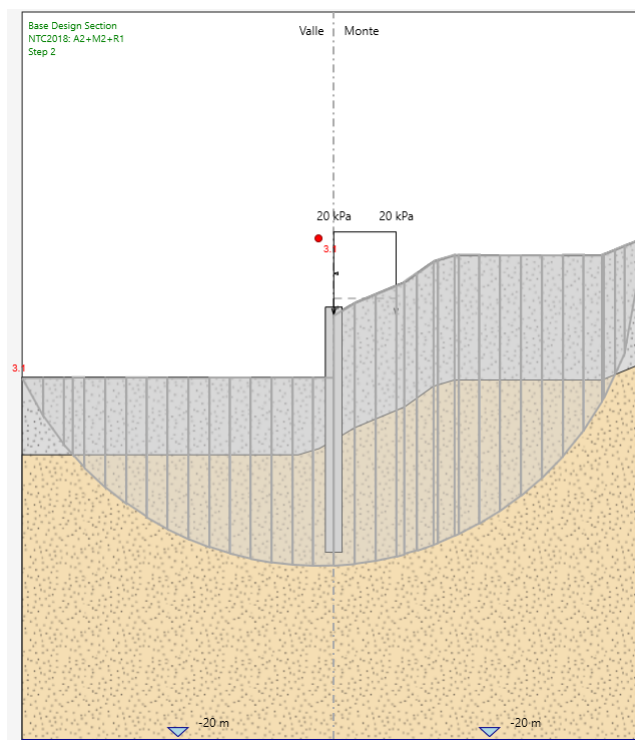


Figura 57 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 3.1).

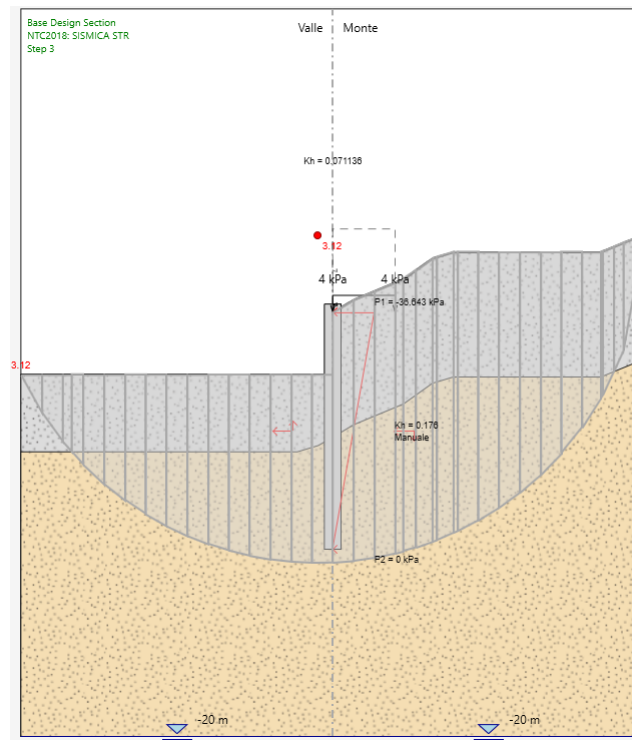


Figura 58 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo.(FS = 3.12).

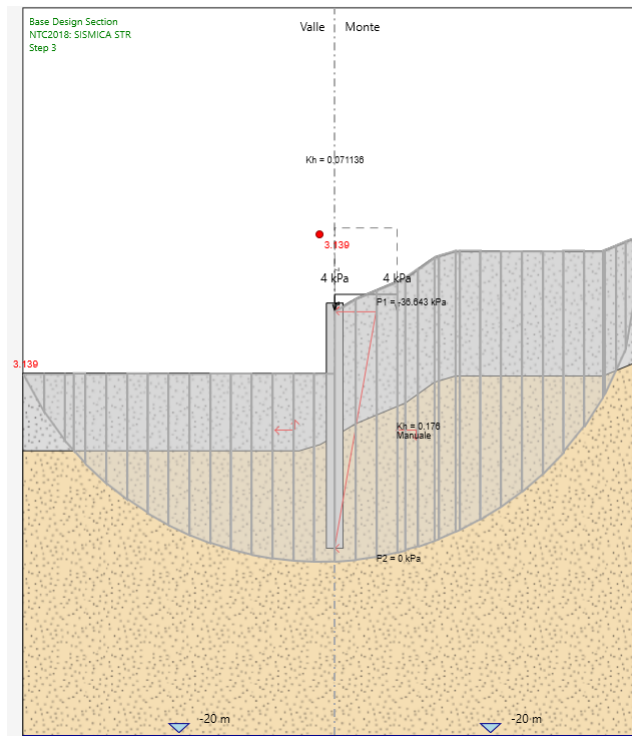


Figura 59 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo.(FS = 3.139).

12.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.27	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 2)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.56	D.A. SISMICA GEO (Step 3)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 56 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

12.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 60 e nella Figura 61 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 10.7 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 34.5 mm e sia ha in testa alla paratia.

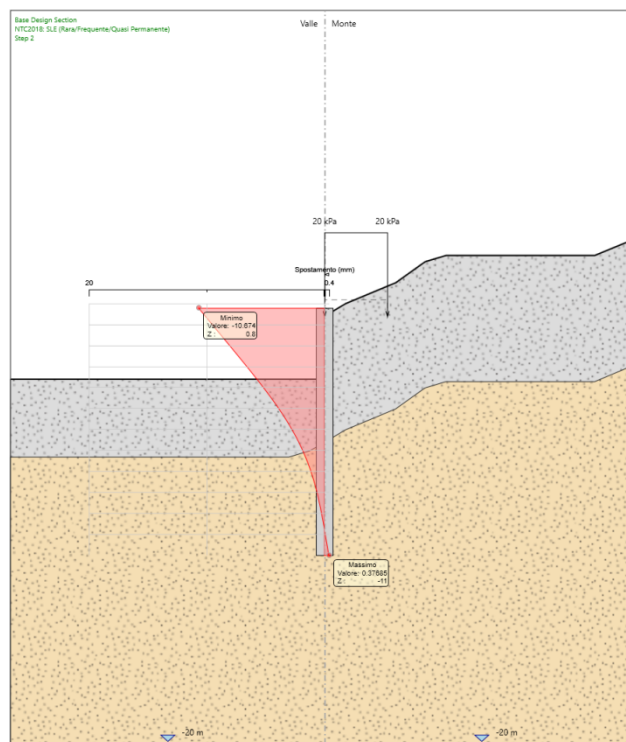


Figura 60 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 10.7$ mm).

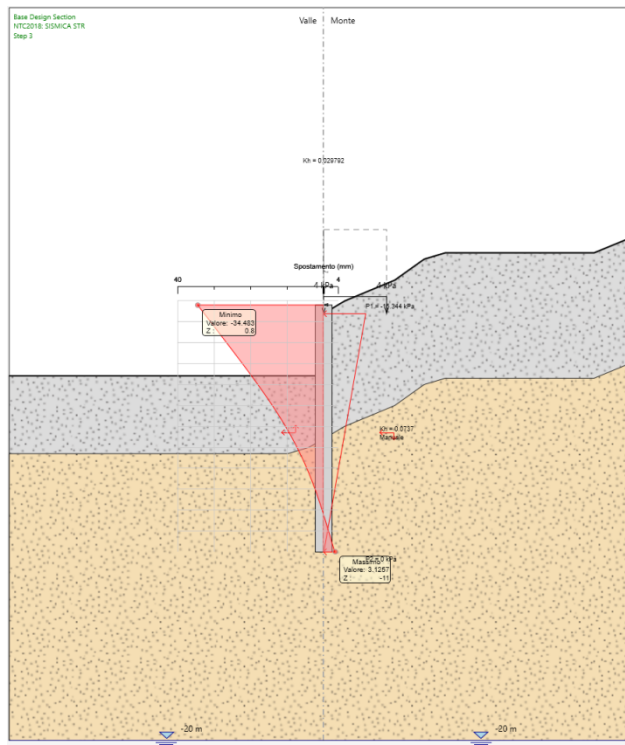


Figura 61 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 34.5 \text{ mm}$).

13 MODELLO 5

Il modello 5 rappresenta la paratia tra la pk 95+500 e la pk 95+600.

La Figura 62 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

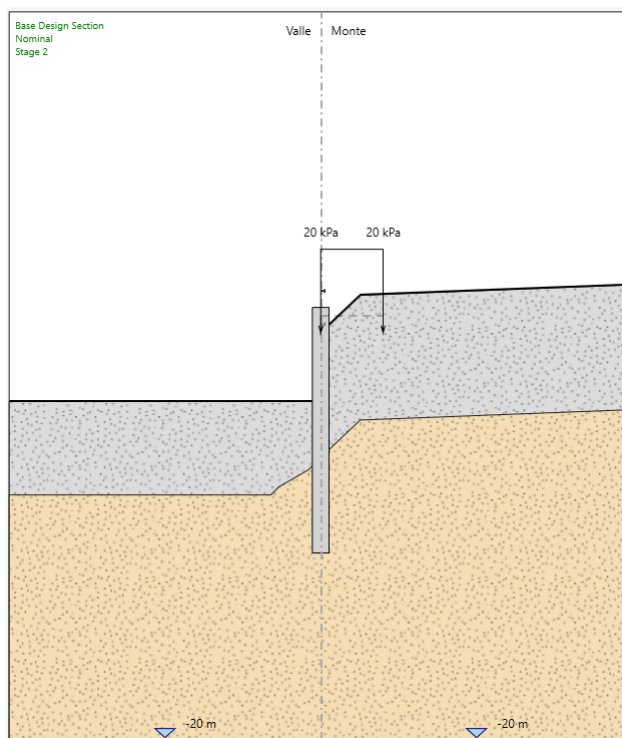


Figura 62 – Modello di calcolo 5.

In Tabella 30 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 31.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 3.7$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 30 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 95+500 e la pk 95+600.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = -0.4$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 3.7 - 0.4 = 3.3$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 6	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	6 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 31 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 32 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.157	0.92	1.00	0.1443

Tabella 32 – Parametri per l'analisi sismica.

13.1.1 FASI DI CALCOLO

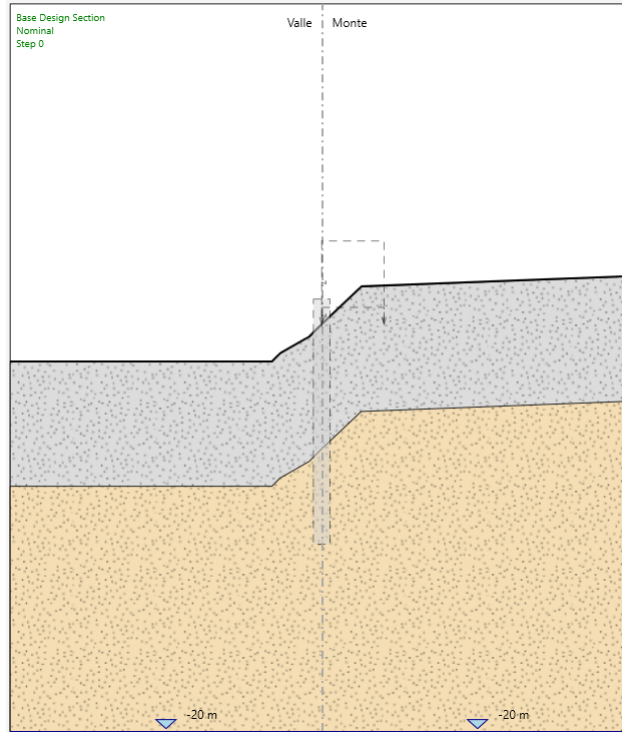


Figura 63 – Step 0: stato attuale.

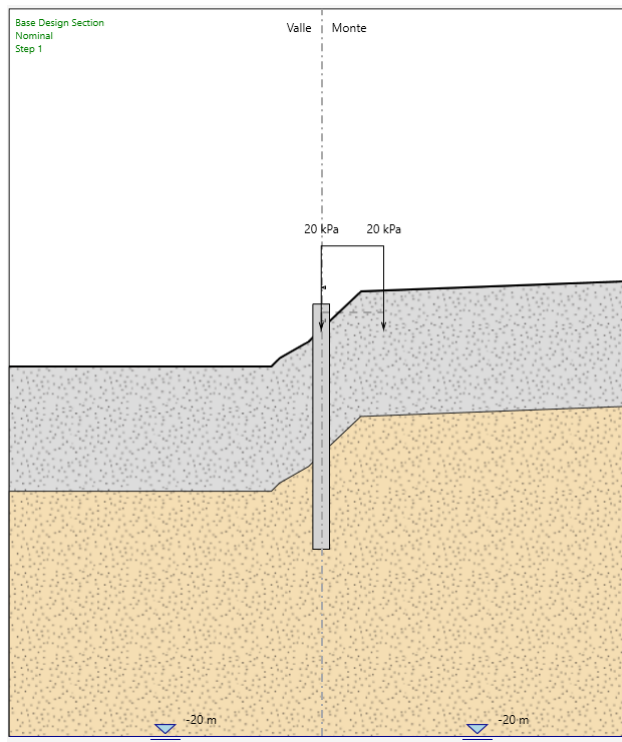


Figura 64 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

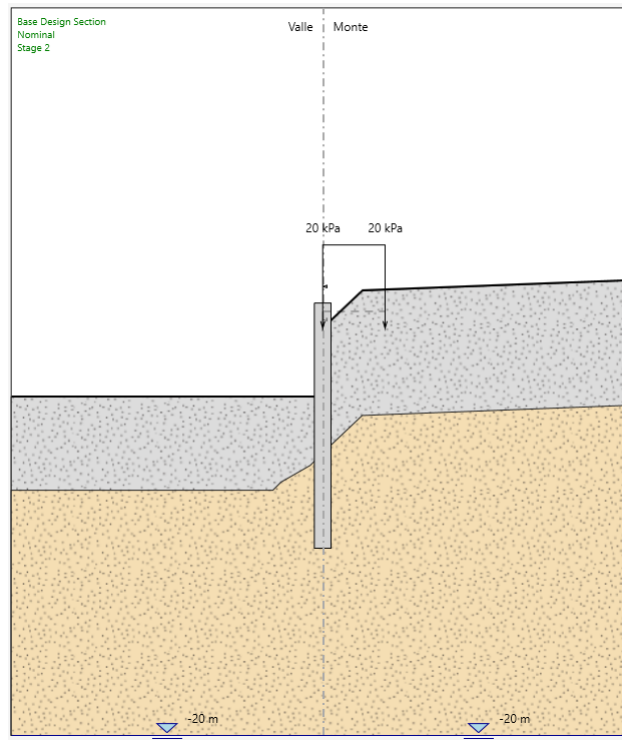


Figura 65 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-3.7 m da TP).

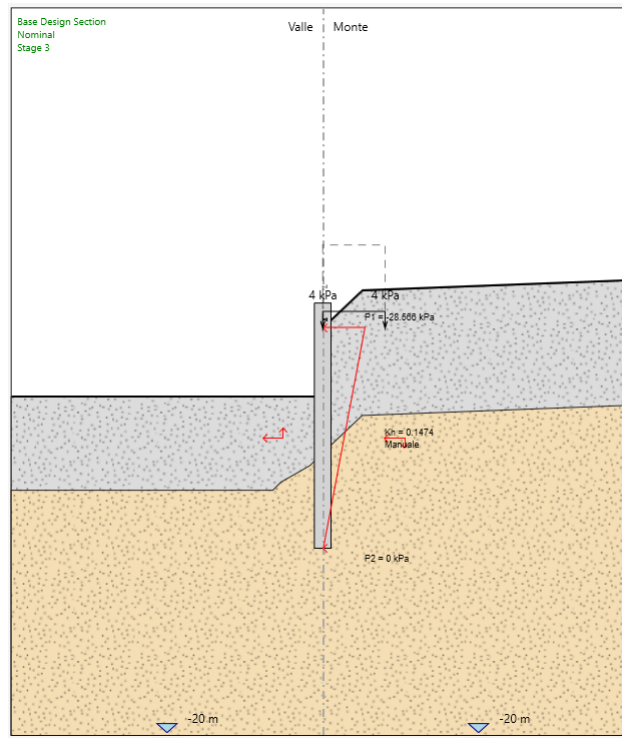


Figura 66 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

13.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

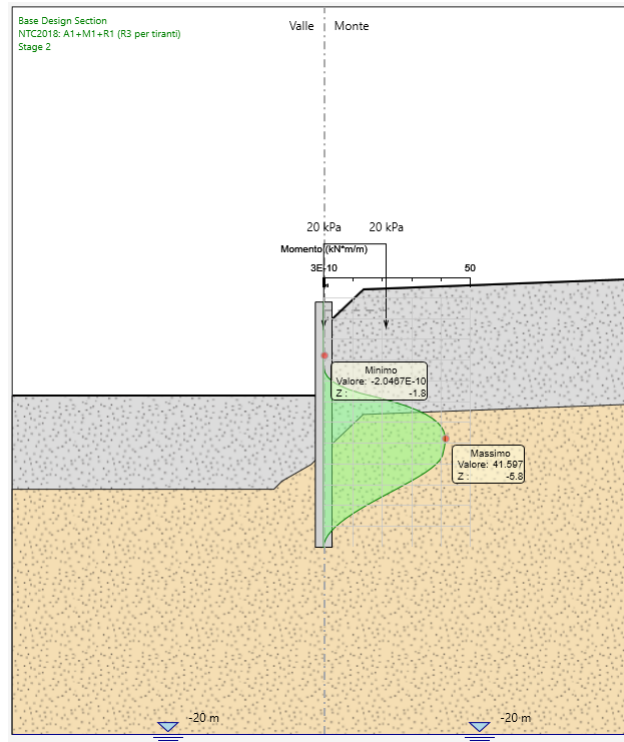


Figura 67 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

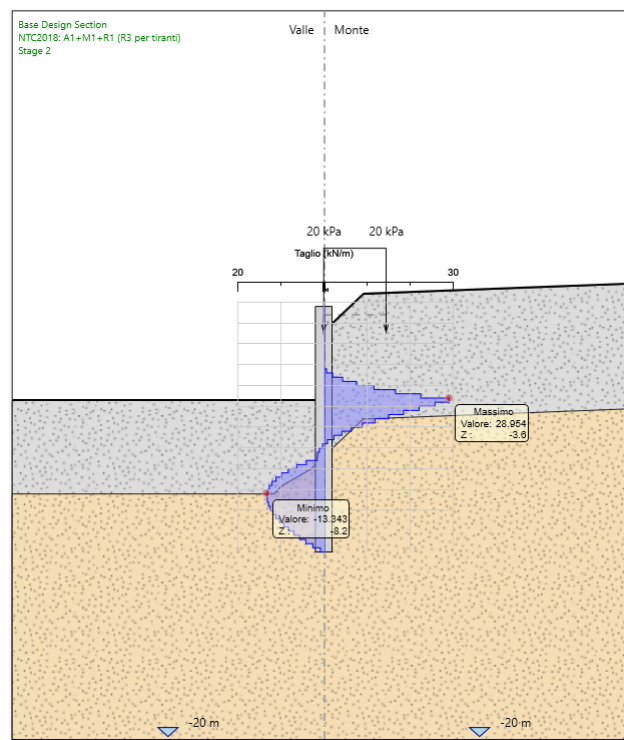


Figura 68 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

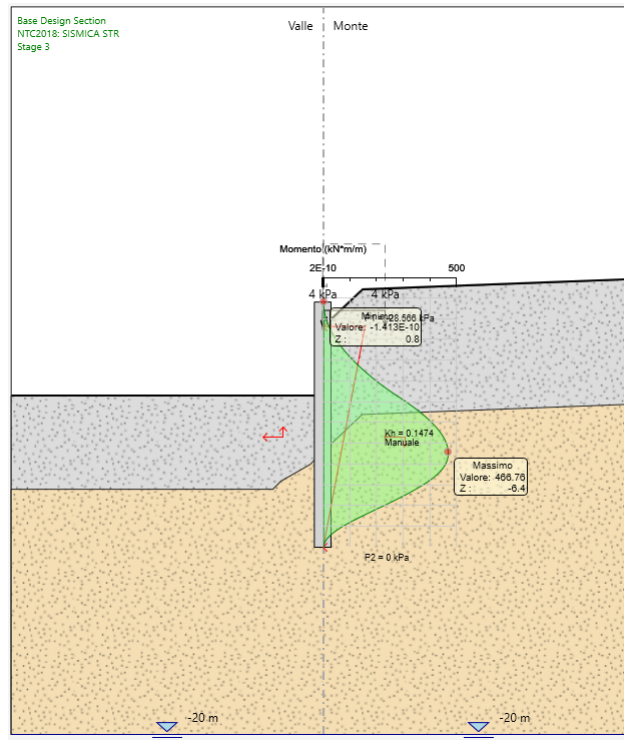


Figura 69 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

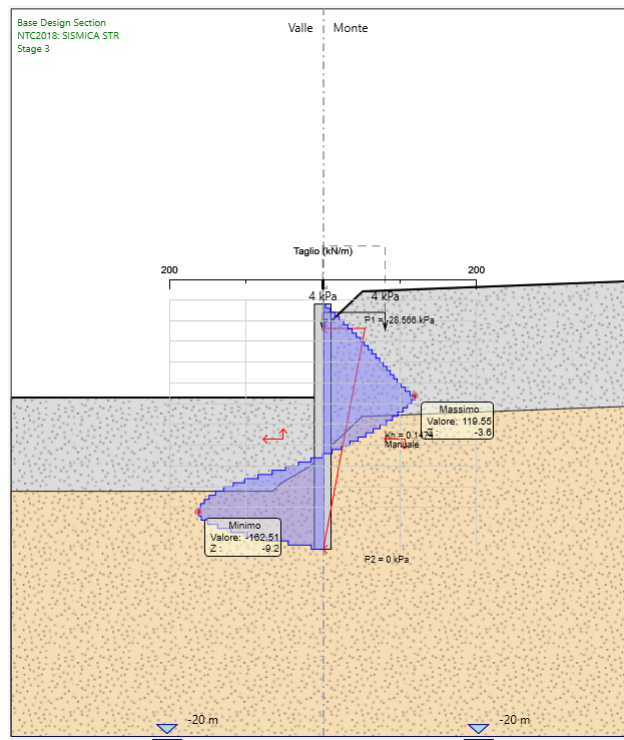


Figura 70 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

13.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-5.8	41.6		41.6	72.9	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-3.6	12.9	29.0	12.9	45.2	29.0
SISMICA STR	Step 3	-6.4	466.8		466.8	80.4	0.0
SISMICA STR	Step 3	-9.2	193.3	162.5	193.3	115.6	162.5
SLE Rara	Step 2	-5.8	27.2		27.2	72.9	0.0

Tabella 33 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

13.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 33. I pali hanno un'armatura corrente di 16 ϕ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 13

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	31.80	16	20

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	8043	46676	0	0	0
2	11561	19331	0	16251	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	7289	2719	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 10.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	8043	46676	0	8040	59173	0	1.268
2	S	11561	19331	0	11547	59904	0	3.099

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00262	0.0	40.0	0.00204	0.0	31.8	-0.00931	0.0	-31.8
2	0.00350	-0.00254	0.0	40.0	0.00206	0.0	31.8	-0.00914	0.0	-31.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000178386	-0.003635454		
2	0.000000000	0.000176108	-0.003544312		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	82	mm		
rs	318	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406076	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	602.4	mm	fck	24.9
bw	674.0	mm	γ_c	1.5
$1 + (200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576		As	11	ϕ	20.0
Asl	3456	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.009					
ρ_l	0.009		VRd	212.54	kN	
vmin	0.346		VEd	162.51	kN	
vmin · bw · d	140.3	kN	VRd/VEd	1.31	-	
Vrd	212.5	kN	VERIFICATO			

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]										
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]										
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre										
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm										
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni										
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm										

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	5.8	0.0	0.0	-35	0.0	-31.8	0	0		0.000

13.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 71, Figura 72 e Figura 73 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.272 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 3.363 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

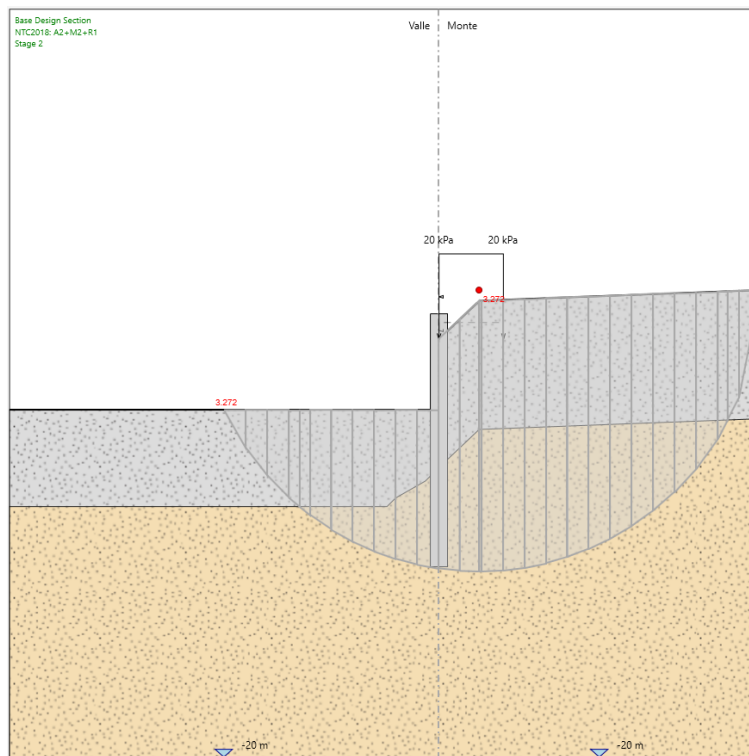


Figura 71 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 3.272).

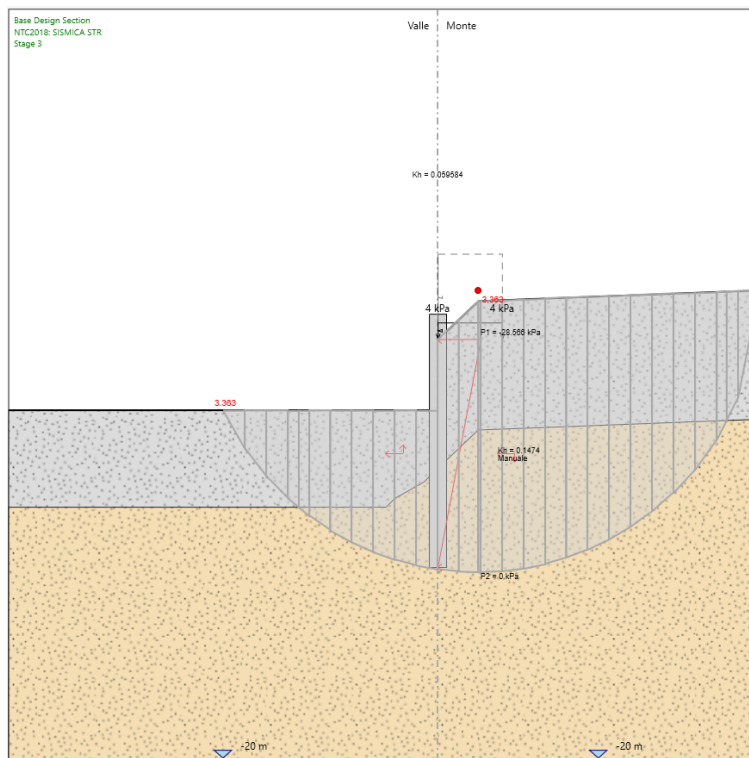


Figura 72 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo.(FS = 3.363).

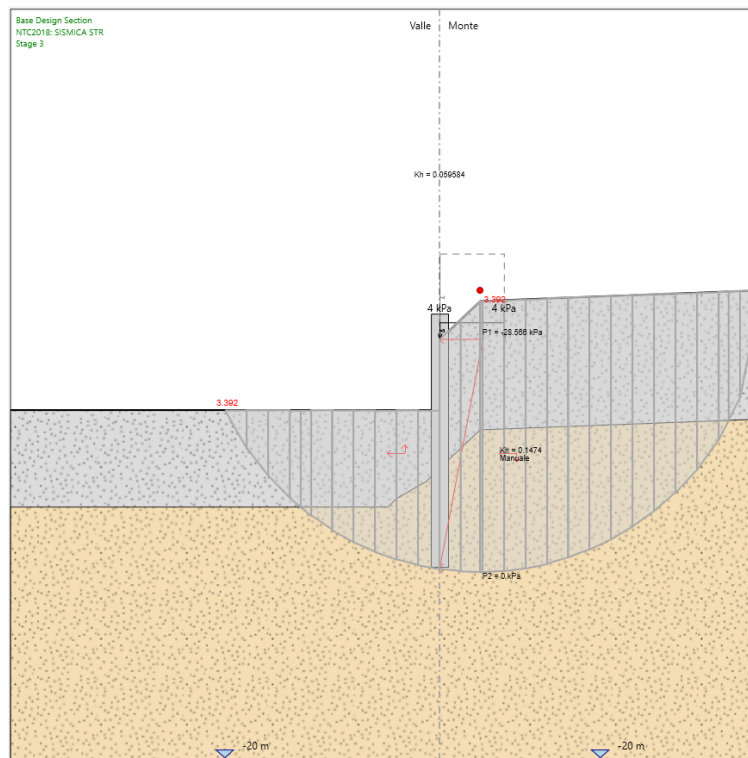


Figura 73 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 3.392).

13.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.60	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 6)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.62	D.A. SISMICA GEO (Step 6)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 62 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

13.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 74 e nella Figura 75 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 1.9 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 8.9 mm e sia ha in testa alla paratia.

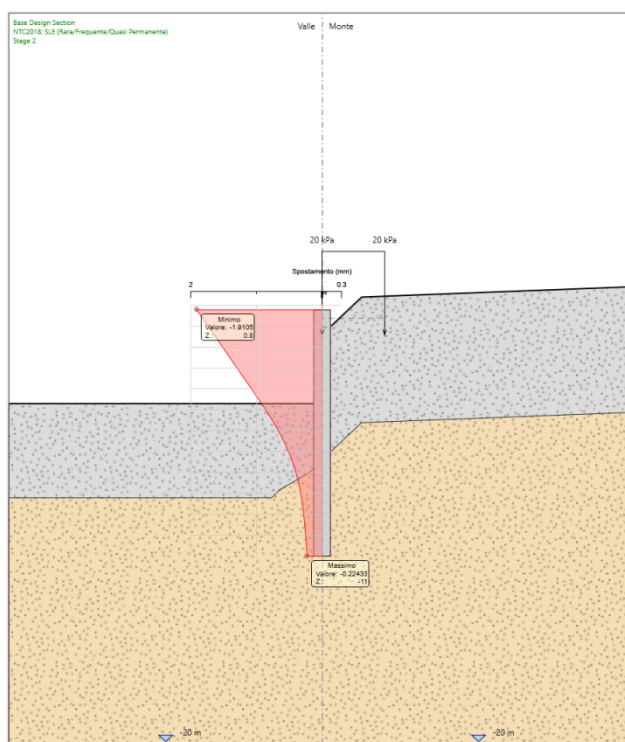


Figura 74 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 1.9$ mm).

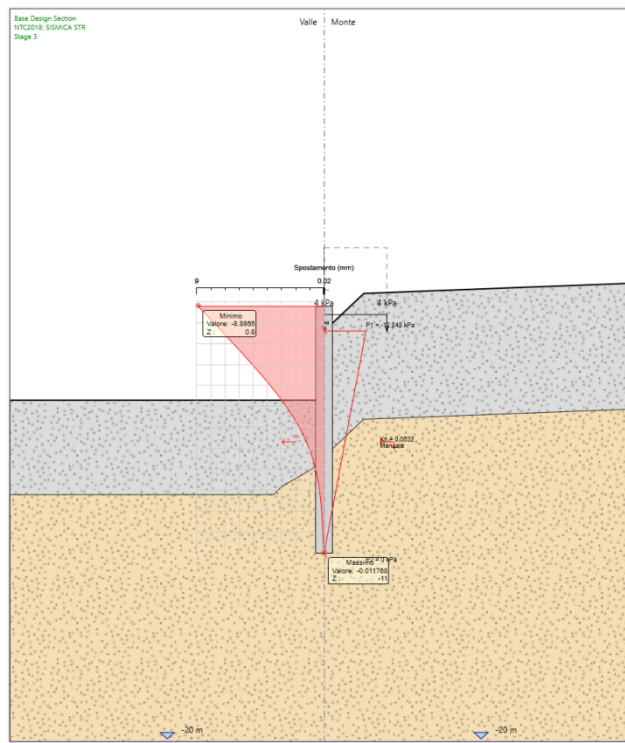


Figura 75 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 8.9 \text{ mm}$).

14 MODELLO 6

Il modello 6 rappresenta la paratia tra la pk 101+260 e la pk 101+550.

La Figura 76 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

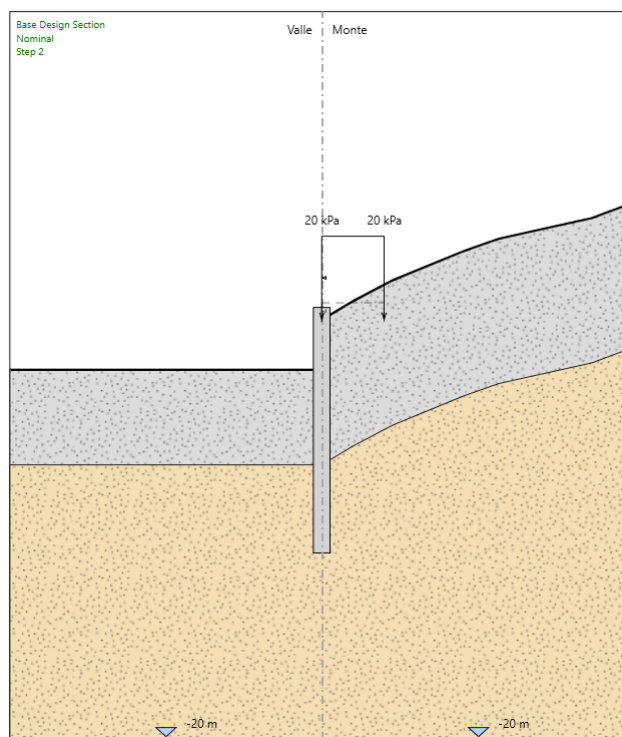


Figura 76 – Modello di calcolo 6.

In Tabella 34 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 35.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 2.2$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte (in fase di scavo)	$q = 20$ kPa in condizioni statiche $q = 4$ kPa in condizioni sismiche
falda	n. d.

Tabella 34 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 101+260 e la pk 101+550.

Il piano campagna in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 0.2$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 2.2 + 0.2 = 2.4$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 7	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	7 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume

c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)

φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)

δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
(*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche

E' = modulo di Young

$E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)

$k_o = 1 - \text{sen}\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 35 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 36 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α (-)	β (-)	k_h (-)
E	0.139	0.92	1.00	0.1281

Tabella 36 – Parametri per l'analisi sismica.

14.1.1 FASI DI CALCOLO

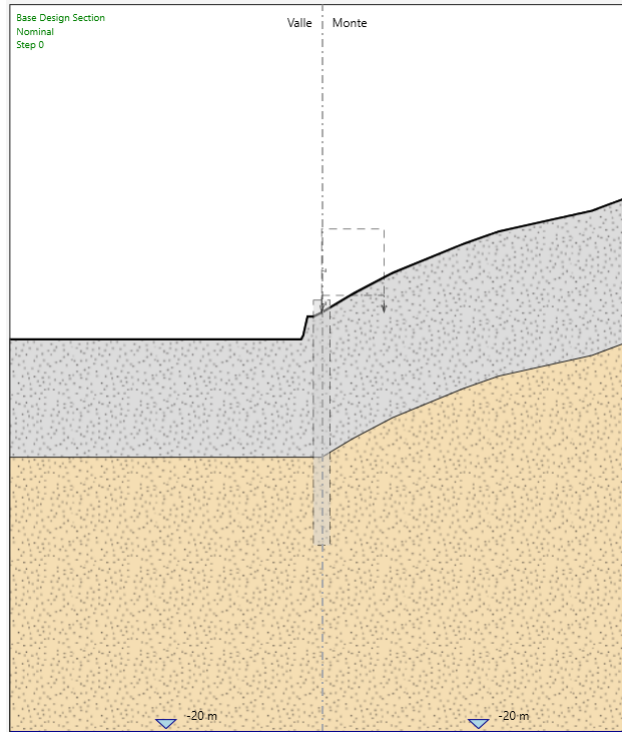


Figura 77 – Step 0: stato attuale.

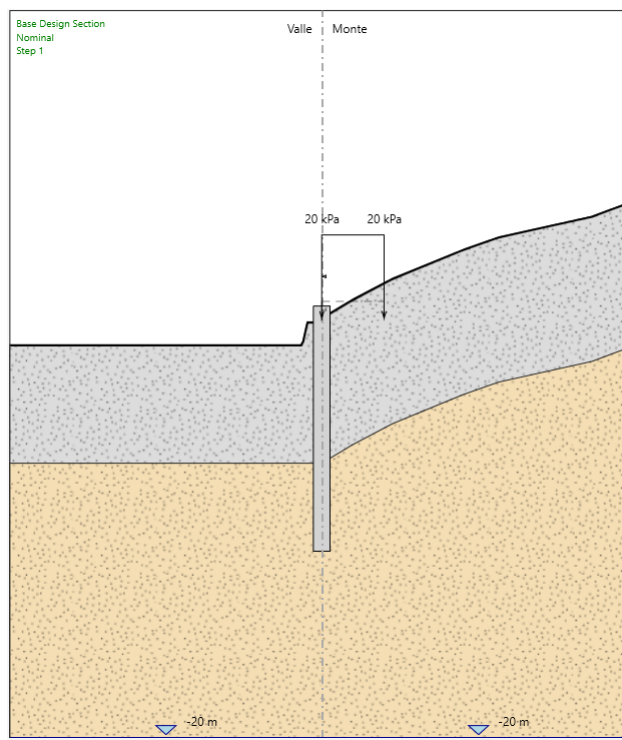


Figura 78 – Step 1: Realizzazione pali con applicazione del sovraccarico variabile a monte di 20 kPa.

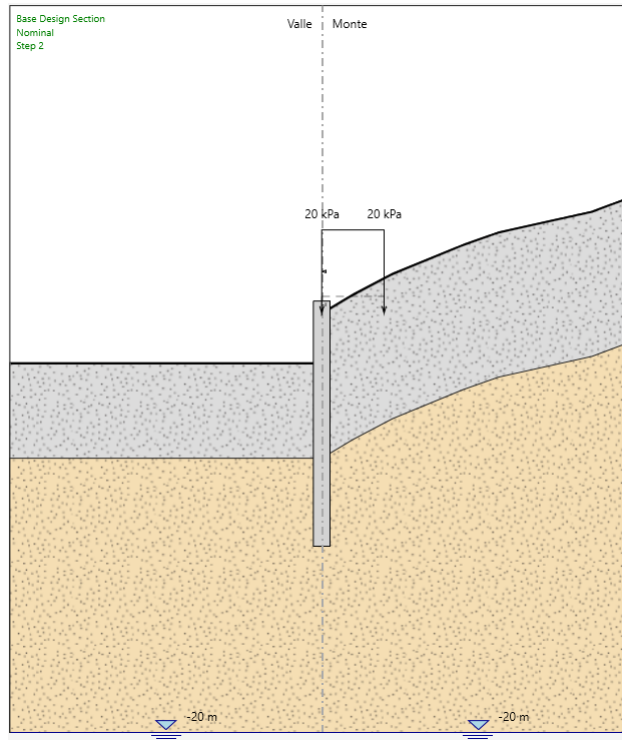


Figura 79 – Step 2: Scavo fino alla quota di progetto (-2.2 m da TC).

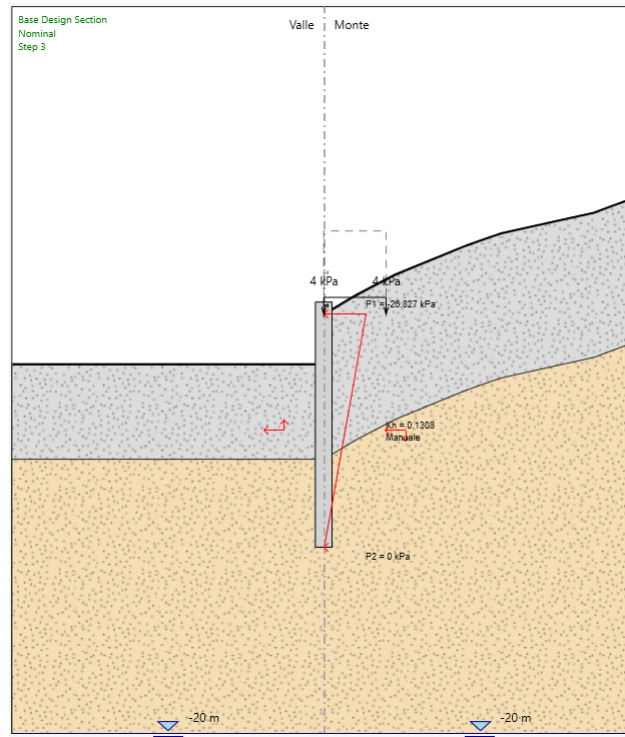


Figura 80 – Step 3: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

14.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

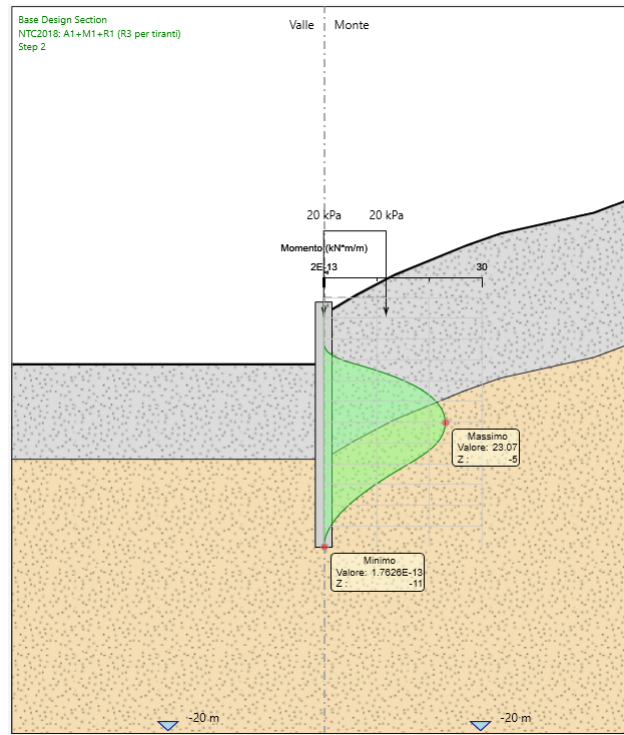


Figura 81 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

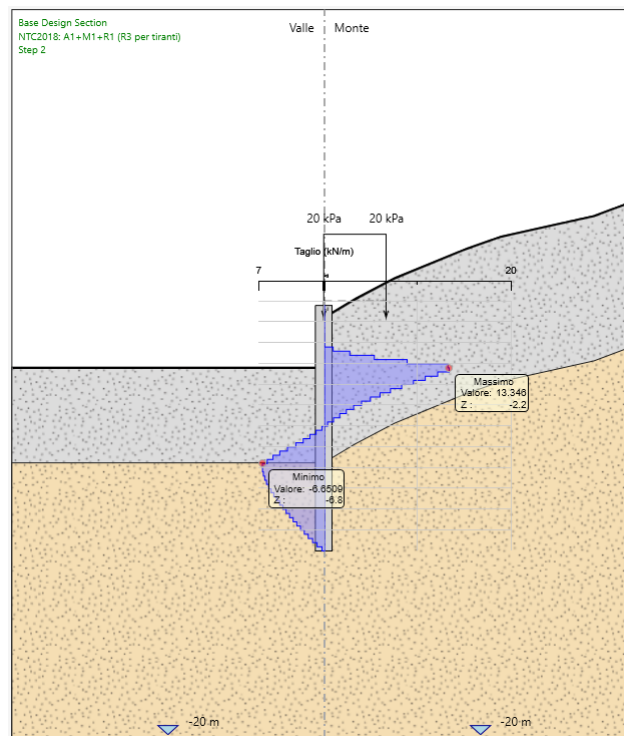


Figura 82 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

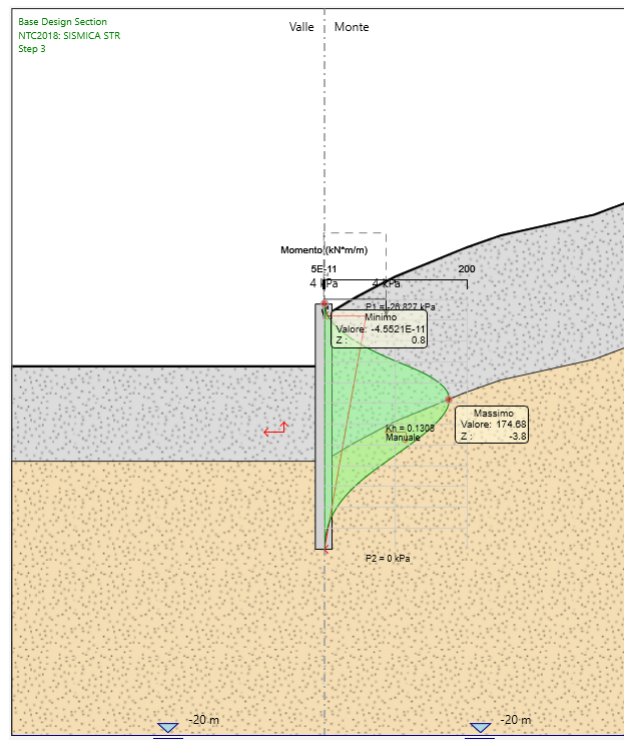


Figura 83 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

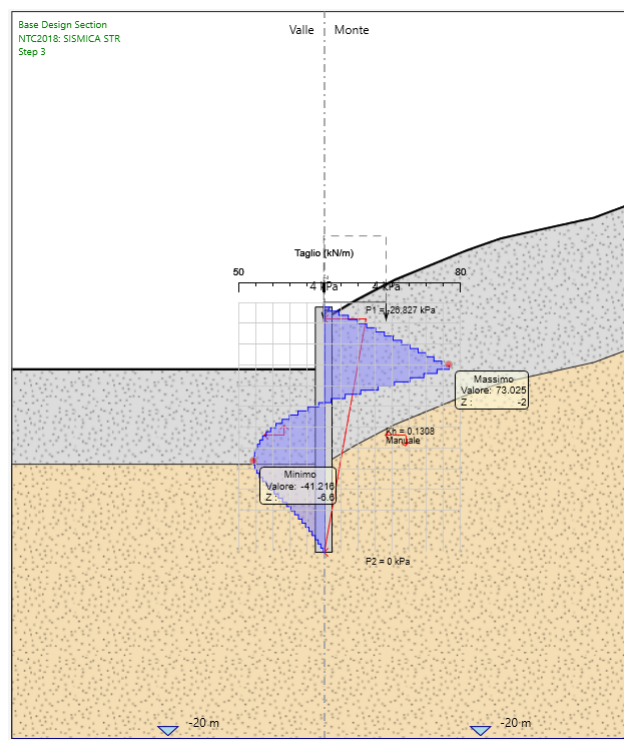


Figura 84 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

14.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELLA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 2	-5	23.1		23.1	62.8	0.0
A1 + M1 +R1	Step 2	-2.2	6.2	13.3	6.2	27.6	13.3
SISMICA STR	Step 3	-3.8	174.7		174.7	47.8	0.0
SISMICA STR	Step 3	-2	103.3	73.0	103.3	25.1	73.0
SLE Rara	Step 2	-5	16.7		16.7	62.8	0.0

Tabella 37 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

14.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 37. I pali hanno un'armatura corrente di 16 $\bar{\square}$ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 14

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd': 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm: 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C

Resist. caratt. snervam. fyk:	4500.0 daN/cm ²
Resist. caratt. rottura ftk:	5400.0 daN/cm ²
Resist. snerv. di calcolo fyd:	3913.0 daN/cm ²
Resist. ultima di calcolo ftd:	4500.0 daN/cm ²
Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
Modulo Elastico Ef :	2000000 daN/cm ²
Diagramma tensione-deformaz. :	Bilineare finito
Coeff. Aderenza ist. β1*β2 :	1.00 daN/cm ²
Coeff. Aderenza diff. β1*β2 :	0.50 daN/cm ²
Comb.Rare Sf Limite :	3375.0 daN/cm ²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio:	Circolare
Classe Conglomerato:	C25/30
Raggio circonferenza:	40.00 cm
Ascissa X centro circ.:	0.00 cm
Ordinata Y centro circ.:	0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen.	Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
Xcentro	Ascissa del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
Ycentro	Ordinata del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre gen.
Raggio	Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
N.Barre	Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonf.
Diam.	Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro, cm	Ycentro, cm	Raggio, cm	N.Barre	Diam.Ø, mm
1	0.00	0.00	32.00	20	16

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
Vy	Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
Vx	Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	4775	17468	0	0	0
2	2513	10334	0	7303	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N	Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
Mx	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
My	Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	6283	1666	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 8.4 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	4775	17468	0	4785	48714	0	2.789
2	S	2513	10334	0	2515	48162	0	4.661

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00327	0.0	40.0	0.00192	0.0	32.0	-0.01072	0.0	-32.0
2	0.00350	-0.00335	0.0	40.0	0.00190	0.0	32.0	-0.01088	0.0	-32.0

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000197493	-0.004399734		
2	0.000000000	0.000199737	-0.004489461		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm		
c	80	mm		
rs	320	mm		
α	0.53	rad		
Atot	502655	mm ²		
A	406953	mm ²		
h	745.7	mm	Rck	30
d	603.7	mm	fck	24.9
bw	674.1	mm	γ_c	1.5
$1+(200/d)^{0,5}$	1.576			

k	1.576		As	15	ϕ	16.0
Asl	3016	mm ²				
Asl/(bw · d)	0.007					
ρ_l	0.007		VRd	203.32	kN	
vmin	0.345		VEd	73.03	kN	
vmin · bw · d	140.6	kN	VRd/VEd	2.78	-	
Vrd	203.3	kN	VERIFICATO			

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata										
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]										
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)										
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]										
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)										
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre										
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm										
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni										
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm										

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	4.0	0.0	0.0	-18	0.0	-32.0	0	0		0.000

14.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 85, Figura 86 e Figura 87 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.456 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 3.669 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

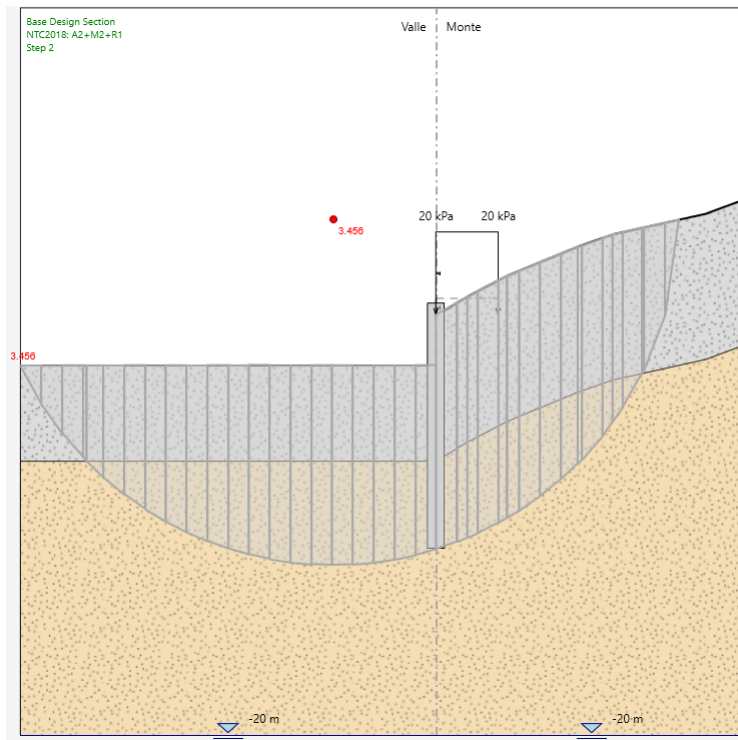


Figura 85 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 3.456).

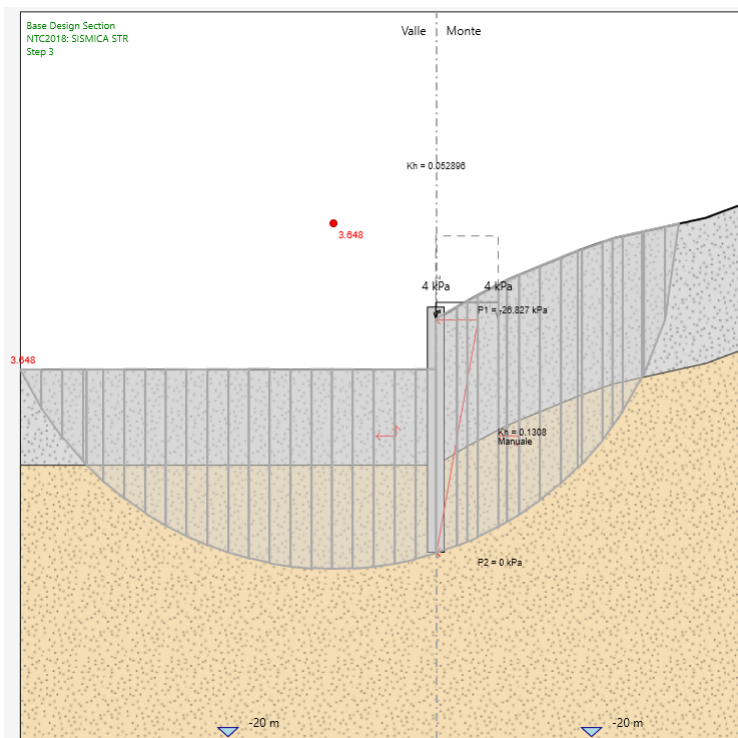


Figura 86 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo.(FS = 3.648).

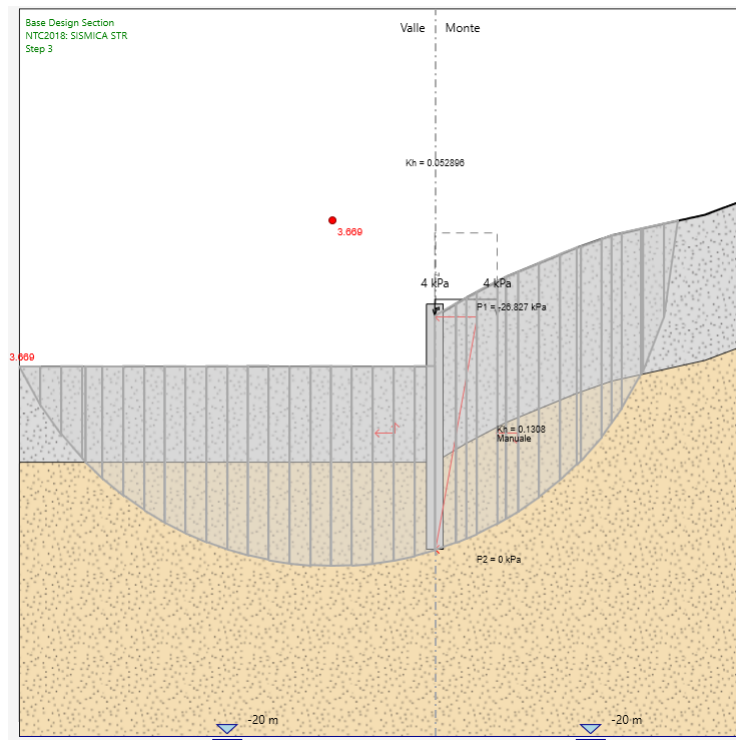


Figura 87 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 3.669).

14.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.49	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 3)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.48	D.A. SISMICA GEO (Step 3)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 49 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

14.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 88 e nella Figura 89 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 0.6 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 2.3 mm e sia ha in testa alla paratia.

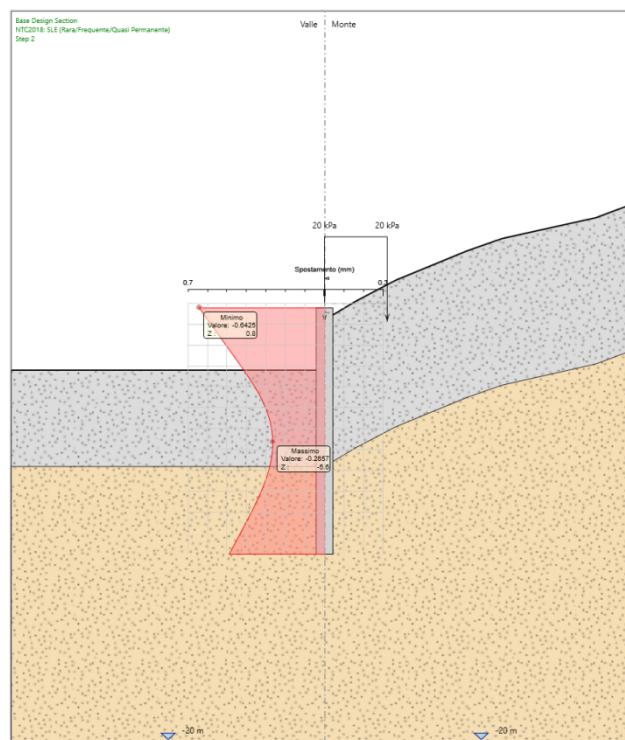


Figura 88 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 0.6$ mm).

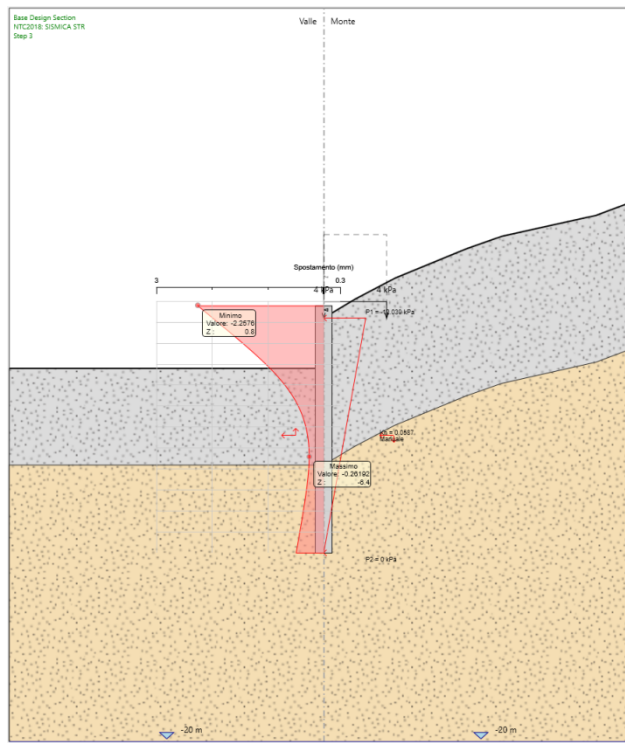


Figura 89 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 2.3 \text{ mm}$).

15 MODELLO 7

Il modello 7 rappresenta la paratia di sottoscarpa tra la pk 102+673 e la pk 102+766 e tra la pk 102+700 e la pk 102+770.

La Figura 90 riporta il modello di calcolo di ParatiePlus nella fase in cui lo scavo a valle della paratia è stato ultimato.

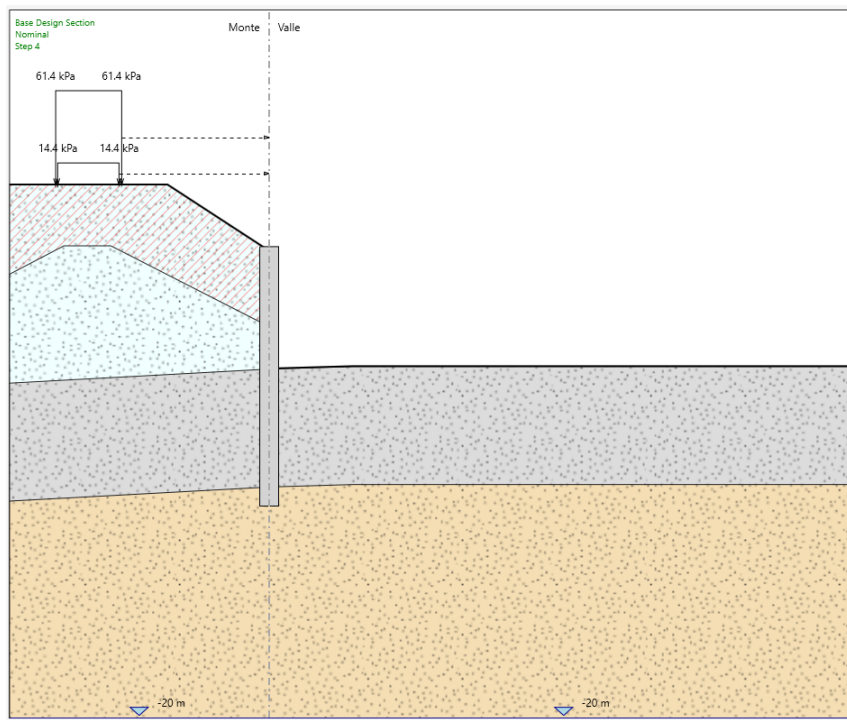


Figura 90 – Modello di calcolo 7.

In Tabella 38 sono riportate le principali caratteristiche geometriche della sezione di calcolo, mentre i parametri geotecnici di calcolo sono riportati in Tabella 39.

tipologia struttura di sostegno	paratia di pali $\phi=800$ mm – interasse 1.0 m
altezza totale paratia	$H_{tot} = 11.8$ m (cordolo 0.8 m + pali $L = 11$ m)
altezza libera paratia	$H_{max} = 4.4$ m (da intradosso cordolo)
inclinazione del piano campagna a monte	da sezioni trasversali
sovraccarichi variabili a monte	$q = 61.4$ kPa in condizioni statiche (treno di carico LM71) $q = 12.3$ kPa in condizioni sismiche (treno di carico LM71) $q = 14.4$ kPa in condizioni statiche e sismiche (ballast)
falda	n. d.

Tabella 38 – Caratteristiche geometriche della paratia tra la pk 102+673 e la pk 102+766 e tra la pk 102+700 e la pk 102+770.

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE Direzione Territoriale Produzione Palermo	CONTRATTO APPLICATIVO n.9/2017 - A.Q. n.341/2016 del 29/11/2016 Progettazione definitiva delle opere civili ed armamento per il ripristino della linea Palermo - Trapani via Milo
	304817_S01_PD_TG- - _06_000_E0002

Il rilevato esistente in asse alla paratia da intradosso cordolo è a $h = 0.6$ m per cui l'altezza di scavo è pari a $H_s = H_{max} + h = 4.4 + 0.6 = 5.0$ m.

Terreno	profondità	γ	c'_k	φ'_k	δ/φ'^*	E'	E'_{ur}	k_o
	(m)	(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(°)	(MPa)	(MPa)	(-)
UG1	0 – 5	18.5	22.0	19.0	0.5	60.0	96.0	0.64
UG2	5 – fm	18.0	20.0	21.0	0.5	75.0	120.0	0.67

γ = peso dell'unità di volume
 c'_k = coesione efficace (valore caratteristico)
 φ'_k = angolo di resistenza al taglio (valore caratteristico)
 δ/φ' = rapporto tra angolo d'attrito struttura/terreno e angolo di resistenza al taglio in condizioni statiche
 (*) $\delta/\varphi' = 0$ nullo in condizioni sismiche
 E' = modulo di Young
 $E'_{ur} = 1.6 \cdot E'$ modulo di Young (scarico/ricarico)
 $k_o = 1 - \sin\varphi'_k$ coefficiente di spinta a riposo

Tabella 39 – Parametri geotecnici caratteristici

In Tabella 40 sono riportati i parametri per l'analisi sismica; in essa:

α = coefficiente di deformabilità (Figura 7.11.2 delle NTC2008);

β = coefficiente di spostamento (figura 7.11.3 delle NTC200);

$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}/g$ = coefficiente sismico orizzontale

categoria di sottosuolo	a_{max}/g	α	β	k_h
		(-)	(-)	(-)
E	0.134	0.94	1.00	0.1263

Tabella 40 – Parametri per l'analisi sismica.

15.1.1 FASI DI CALCOLO

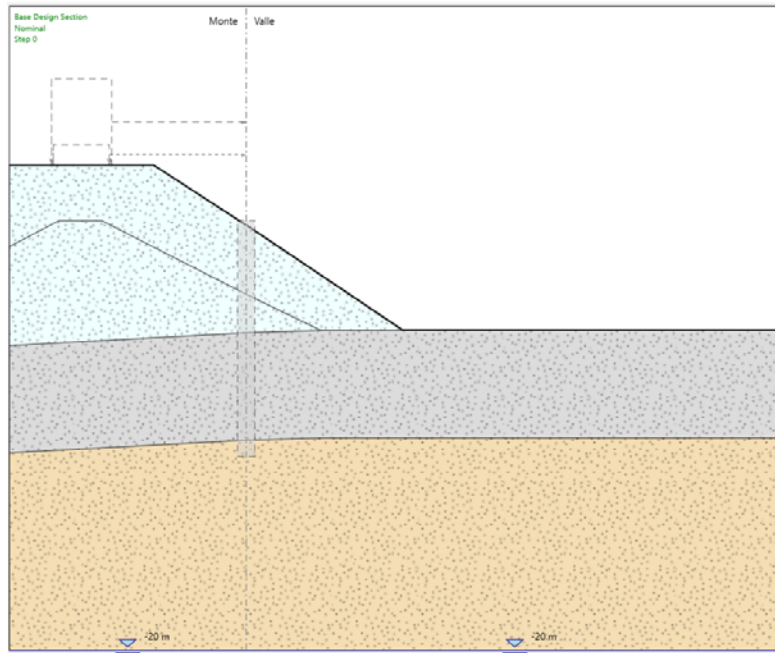


Figura 91 – Step 0: stato attuale.

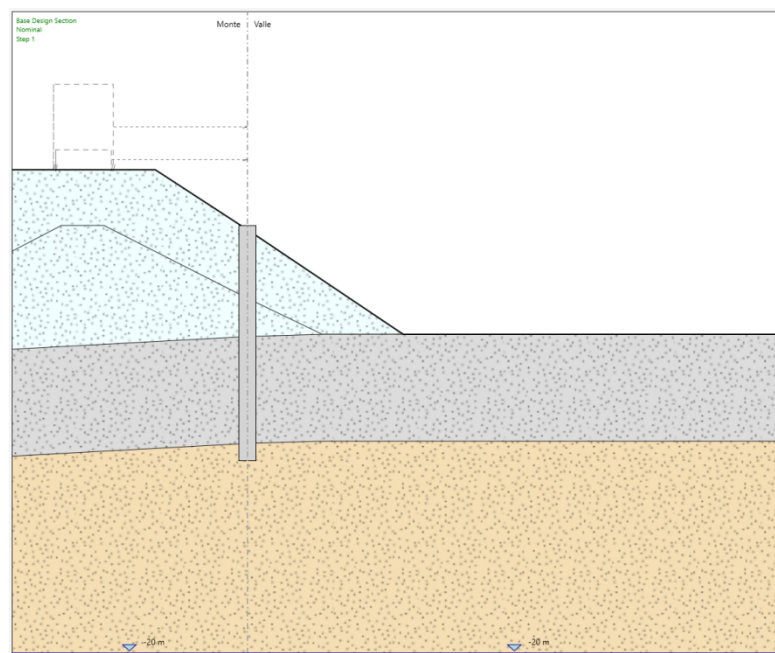


Figura 92 – Step 1: Realizzazione pali.

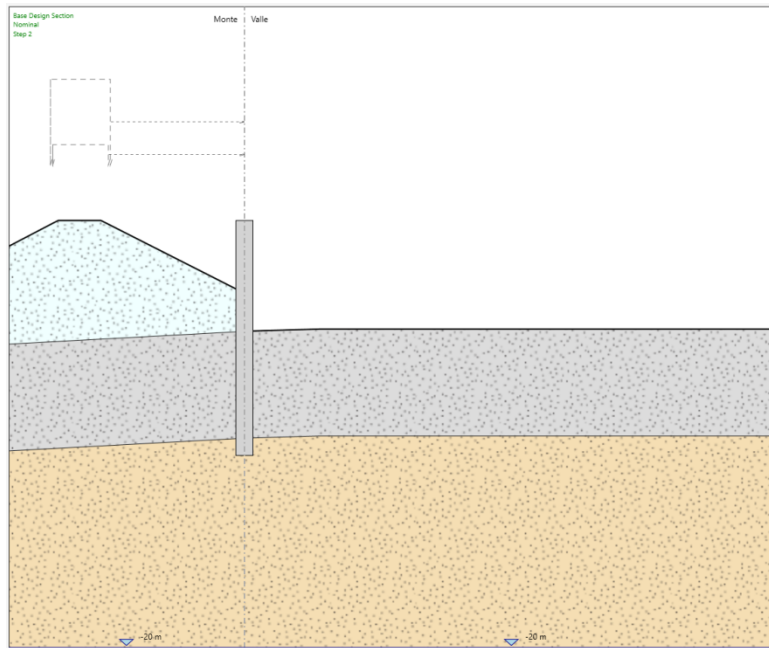


Figura 93 – Step 2: Scavo a valle fino alla quota di progetto (-4.4 m da TP) e scavo a monte con preservazione del nucleo del rilevato esistente.

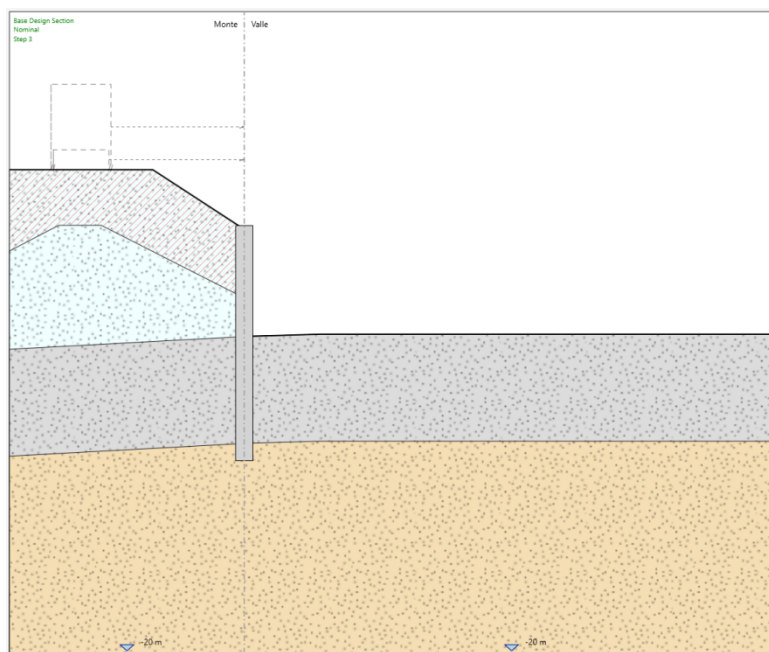


Figura 94 – Step 3: Realizzazione a monte del nuovo rilevato.

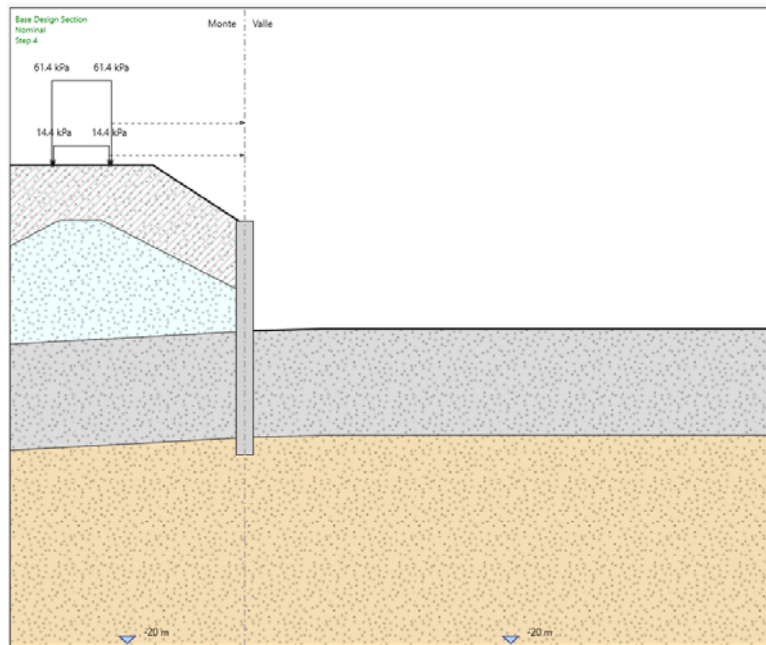


Figura 95 – Step 4: Applicazione del sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario (61,4 kPa) e del carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (14.4 kPa).

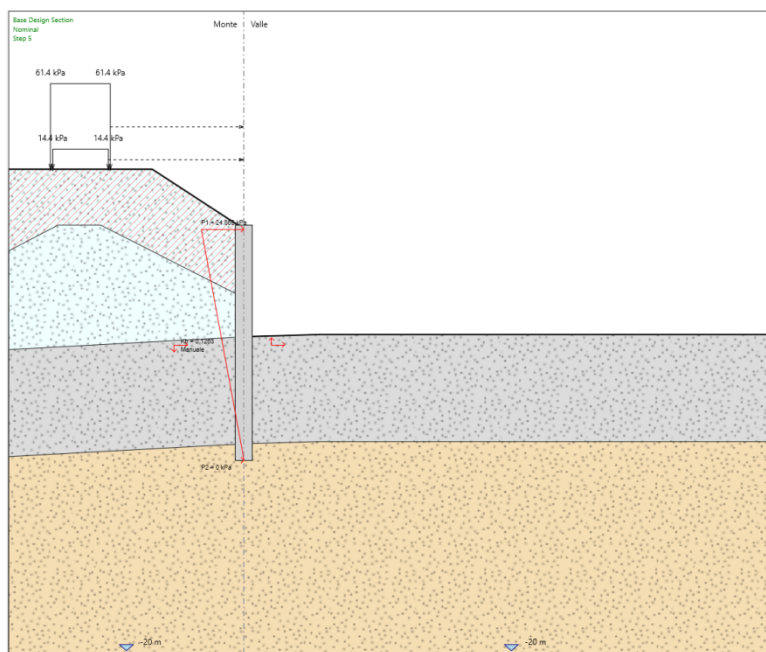


Figura 96 – Step 5: Applicazione dell'azione sismica di progetto.

15.1.2 RISULTATI DELLE ANALISI

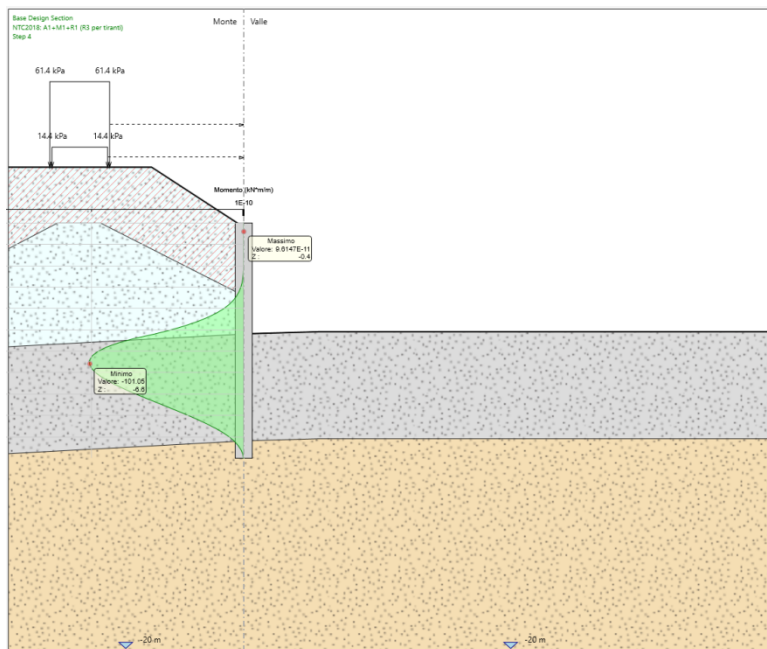


Figura 97 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

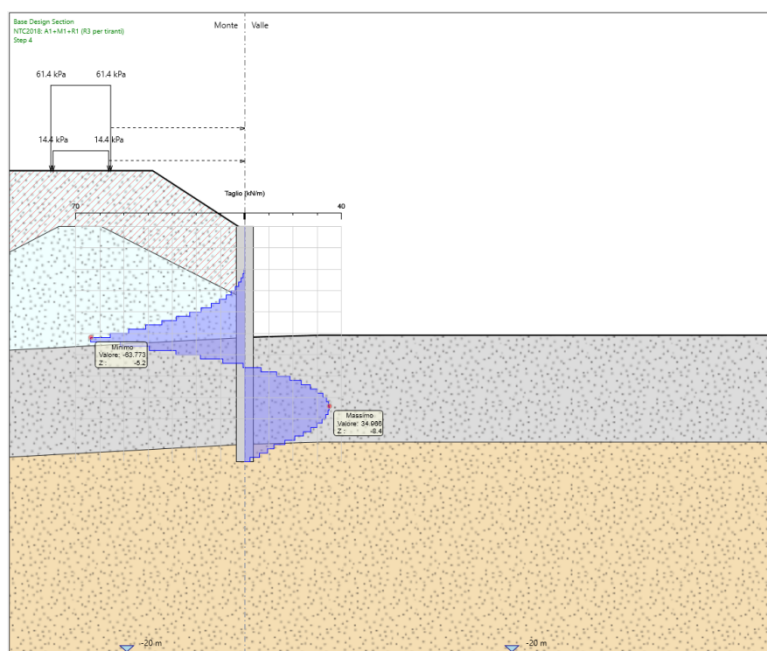


Figura 98 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione A1+M1+R1.

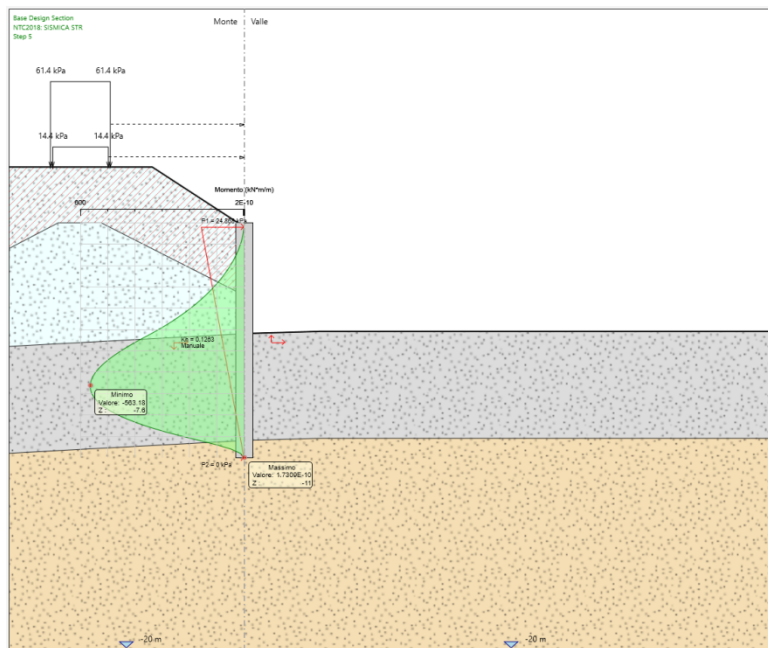


Figura 99 – Diagramma del momento flettente sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

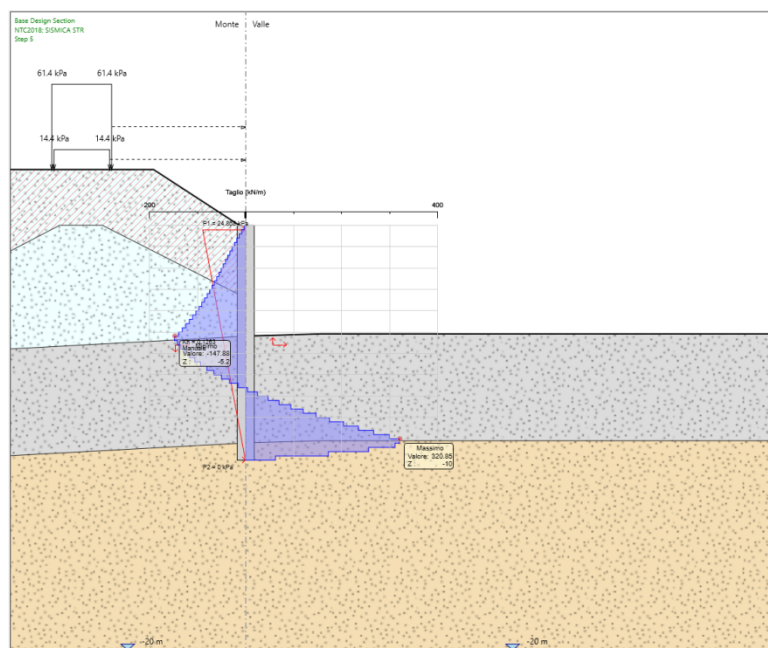


Figura 100 – Diagramma del taglio sulla paratia in combinazione SISMICA STR.

15.1.3 SOLLECITAZIONI MASSIME DELIA SEZIONE IN C.A.

Nella Tabella che segue si riportano le sollecitazioni massime, sia a metro lineare che sul singolo palo (ottenute moltiplicando quelle a metro lineare per l'interasse tra i pali), con cui si sono effettuate le verifiche.

Le sollecitazioni sono state valutate per la sezione di riferimento della struttura sia in condizioni sismiche che in condizioni statiche. Nella verifica a presso-flessione si è considerato il peso proprio del palo valutato alla corrispondente quota di verifica.

COMBINAZIONE	FASE	z	M (kNm/m)	T (kN/m)	M _{palo} (kNm)	N _{palo} (kN)	T _{palo} (kN)
A1 + M1 +R1	Step 4	-5.8	101.1		101.1	72.9	0.0
A1 + M1 +R1	Step 4	-4.4	58.8	63.8	58.8	55.3	63.8
SISMICA STR	Step 5	-6.8	563.2		563.2	85.5	0.0
SISMICA STR	Step 5	-9.2	103.3	320.9	103.3	115.6	320.9
SLE Rara	Step 4	-5.8	73.6		73.6	72.9	0.0

Tabella 41 – Sollecitazioni di verifica della sezione in c.a.

15.1.4 VERIFICHE STRUTTURALI DELLA SEZIONE IN C.A.

Si riporta di seguito la verifica a presso-flessione e a taglio della sezione in c.a. per le sollecitazioni massime riportate in Tabella 41. I pali hanno un'armatura corrente di 20 ϕ 20. L'armatura trasversale è invece costituita da una spirale ϕ 12/20. Il copri ferro di calcolo è pari a 8.2 mm.

DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

NOME SEZIONE: paratia 14

Descrizione Sezione:
 Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi
 Tipologia sezione: Sezione generica
 Normativa di riferimento: N.T.C.
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante
 Condizioni Ambientali: Poco aggressive
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia
 Riferimento alla sismicità: Zona non sismica
 Posizione sezione nell'asta: In zona critica

CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CONGLOMERATO - Classe: C25/30
 Resis. compr. di calcolo fcd : 141.60 daN/cm²
 Resis. compr. ridotta fcd' : 70.80 daN/cm²
 Def.unit. max resistenza ec2 : 0.0020
 Def.unit. ultima ecu : 0.0035
 Diagramma tensione-deformaz. : Parabola-Rettangolo
 Modulo Elastico Normale Ec : 314750 daN/cm²
 Coeff. di Poisson : 0.20
 Resis. media a trazione fctm : 26.00 daN/cm²
 Coeff. Omogen. S.L.E. : 15.0
 Combinazioni Rare in Esercizio (Tens.Limite):
 Sc Limite : 137.00 daN/cm²
 Apert.Fess.Limite : 0.200 mm

ACCIAIO - Tipo: B450C
 Resist. caratt. snervam. fyk : 4500.0 daN/cm²
 Resist. caratt. rottura ftk : 5400.0 daN/cm²
 Resist. snerv. di calcolo fyd : 3913.0 daN/cm²
 Resist. ultima di calcolo ftd : 4500.0 daN/cm²
 Deform. ultima di calcolo Epu : 0.068
 Modulo Elastico Ef : 2000000 daN/cm²
 Diagramma tensione-deformaz. : Bilineare finito
 Coeff. Aderenza ist. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 1.00 daN/cm²

Coeff. Aderenza diff. $\beta_1 \cdot \beta_2$: 0.50 daN/cm²
 Comb.Rare Sf Limite : 3375.0 daN/cm²

CARATTERISTICHE DOMINI CONGLOMERATO
DOMINIO N° 1

Forma del Dominio: Circolare
 Classe Conglomerato: C25/30

 Raggio circonferenza: 40.00 cm
 Ascissa X centro circ.: 0.00 cm
 Ordinata Y centro circ.: 0.00 cm

DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N.Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre
 Xcentro Ascissa del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Ycentro Ordinata del centro della circonfer. lungo cui sono disposte le barre gen.
 Raggio Raggio in cm della circonferenza lungo cui sono disposte le barre gen.
 N.Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonfer.
 Diam. Diametro in mm della singola barra generata

N.Gen.	Xcentro,cm	Ycentro,cm	Raggio,cm	N.Barre	Diam.Ø,mm
1	0.00	0.00	31.80	20	20

ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baric. (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.
 Vy Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia y
 Vx Componente del Taglio [daN] parall. all'asse princ.d'inerzia x

N.Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	8545	56318	0	0	0
2	11561	10334	0	32085	0

COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale in daN applicato nel Baricentro (+ se di compressione)
 Mx Coppia concentrata in daNm applicata all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sez.
 My Coppia concentrata in daNm applicata all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.

N.Comb.	N	Mx	My
1	7289	7361	0

RISULTATI DEL CALCOLO

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.9 cm
 Copriferro netto minimo staffe: 6.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
 N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
 Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)

Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
 My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)
 Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	8545	56318	0	8551	71292	0	1.266
2	S	11561	10334	0	11583	71889	0	6.957

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
 Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O sez.)
 ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
 Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)
 Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0.00350	-0.00215	0.0	40.0	0.00215	0.0	31.8	-0.00833	0.0	-31.8
2	0.00350	-0.00210	0.0	40.0	0.00216	0.0	31.8	-0.00822	0.0	-31.8

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000164773	-0.003090909		
2	0.000000000	0.000163244	-0.003029763		

VERIFICA A TAGLIO SENZA SPECIFICA ARMATURA A TAGLIO

r	400	mm			
c	82	mm			
rs	318	mm			
α	0.53	rad			
Atot	502655	mm ²			
A	406076	mm ²			
h	745.7	mm	Rck	30	
d	602.4	mm	fck	24.9	
bw	674.0	mm	γ_c	1.5	
$1+(200/d)^{0,5}$	1.576				
k	1.576		As	13	ϕ 20.0
Asl	4084	mm ²			
Asl/(bw · d)	0.010				

ρ_l	0.010	VRd	224.71	kN
v_{min}	0.346	VEd	320.85	kN
$v_{min} \cdot bw \cdot d$	140.3	VRd/VEd	0.70	-
Vrd	224.7	NON VERIFICATO		

ARMATURE A TAGLIO DI INVILUPPO PER TUTTE LE COMBINAZIONI ASSEGNATE

Diametro staffe:	12 mm	
Passo staffe:	20.0 cm	[Passo massimo di normativa = 24.0]
N.Bracci staffe:	2	
Area staffe/m :	11.3 cm ² /m	[Area Staffe Minima normativa = 2.4]

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Vsdu	Taglio agente [daN] = proiezione di V_x e V_y sulla normale all'asse neutro
Vru	Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso
Vcd	Taglio [daN] assorbito dal conglomerato nel calcolo delle staffe
Vwd	Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe
Dmed	Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro. Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso. I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.
bw	Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro. E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Teta	Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato
Acw	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione
Afst	Area staffe strettamente necessarie a taglio per metro di trave [cm ² /m]

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Afst
1	S	0	137482	23588	59.2	72.0	45.00°	1.012	0.0
2	S	32085	95212	58970	59.2	72.0	21.80°	1.016	6.2

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. di normativa dipendente dalla forma del diagramma delle tensioni
Ap.fess.	Apertura calcolata delle fessure espressa in mm

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	13.1	0.0	0.0	-123	0.0	-31.8	0	0		0.000

15.1.5 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Nella Figura 85, Figura 86 e Figura 87 si riportano i risultati dell'analisi di stabilità globale eseguita nell'ultima fase di scavo in condizioni statiche e sismiche. Si è impiegato il modulo VSP del software Paratie Plus e si è scelto il metodo di Bishop semplificato tenendo conto della paratia come vincolo geometrico. In condizioni statiche il coefficiente di sicurezza è pari a 3.456 ed è maggiore del valore di normativa di 1.1. In condizioni sismiche la verifica risulta essere più gravosa con la componente verticale dell'azione sismica diretta verso il basso; il coefficiente di sicurezza è pari a 3.669 ed è maggiore del valore di normativa di 1.2.

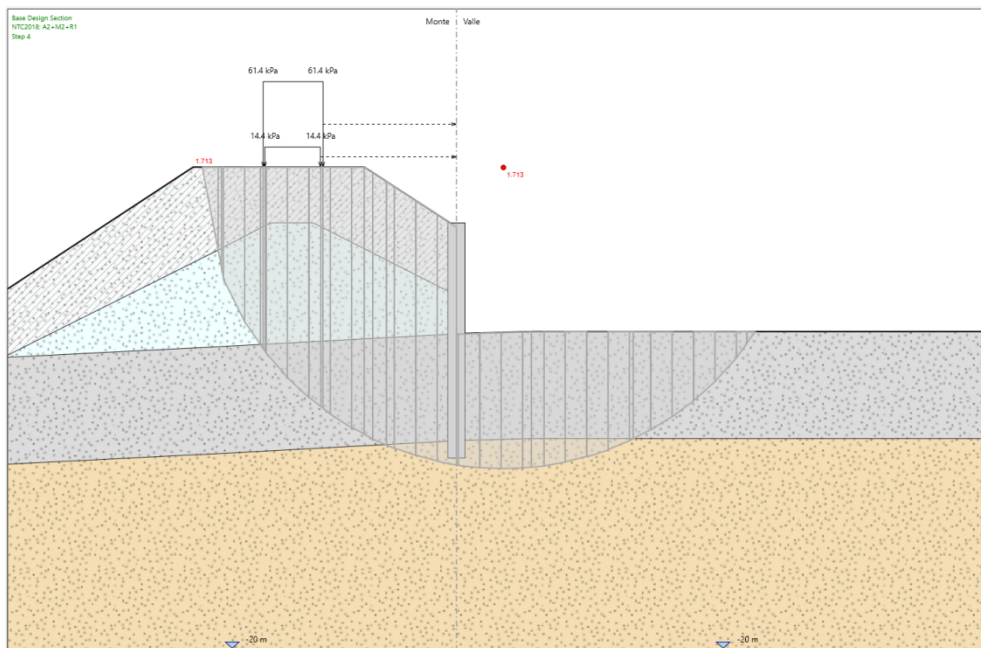


Figura 101 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni statiche (FS = 1.713).

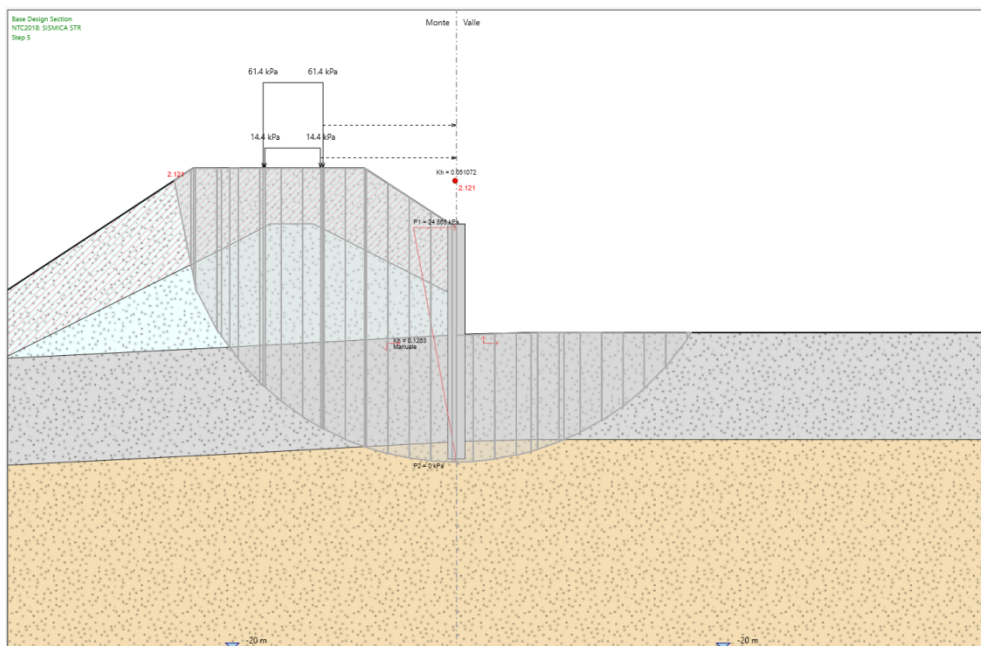


Figura 102 – Verifica di stabilità globale nell'ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v positivo. (FS = 2.121).

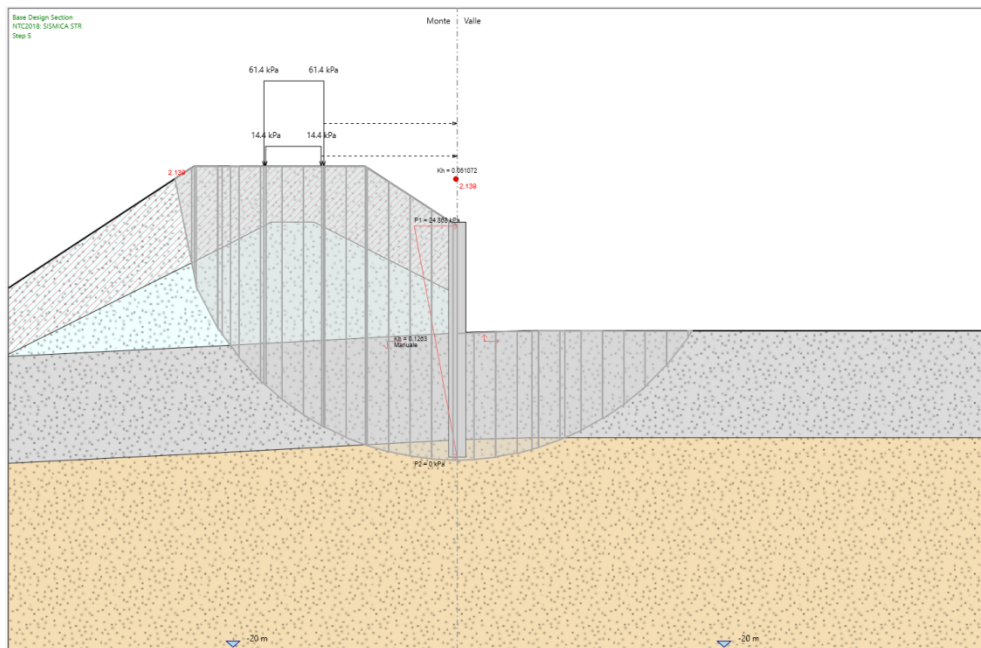


Figura 103 – Verifica di stabilità globale nell’ultima fase di analisi in condizioni sismiche con k_v negativo. (FS = 2.139).

15.1.6 VERIFICHE GEOTECNICHE

Viene analizzata la spinta passiva mobilitata per le combinazioni di carico più gravose:

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.63	D.A. A2 + M2 +R1 (Step 1)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva)	0.77	D.A. SISMICA GEO (Step 5)

Dai tabulati sopra riportati emerge che il valore massimo di spinta mobilitata è pari al 77 %, inferiore al limite del 100% consentito ($R1 = 1$).

15.1.7 SPOSTAMENTI

Nella Figura 104 e nella Figura 105 si riportano gli spostamenti della paratia allo SLE, in condizioni statiche e sismiche rispettivamente.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni statiche è pari a 5.7 mm e si ha in testa alla paratia.

Lo spostamento massimo allo SLE in condizioni sismiche, ossia allo SLD, è pari a 21.5 mm e sia ha in testa alla paratia.

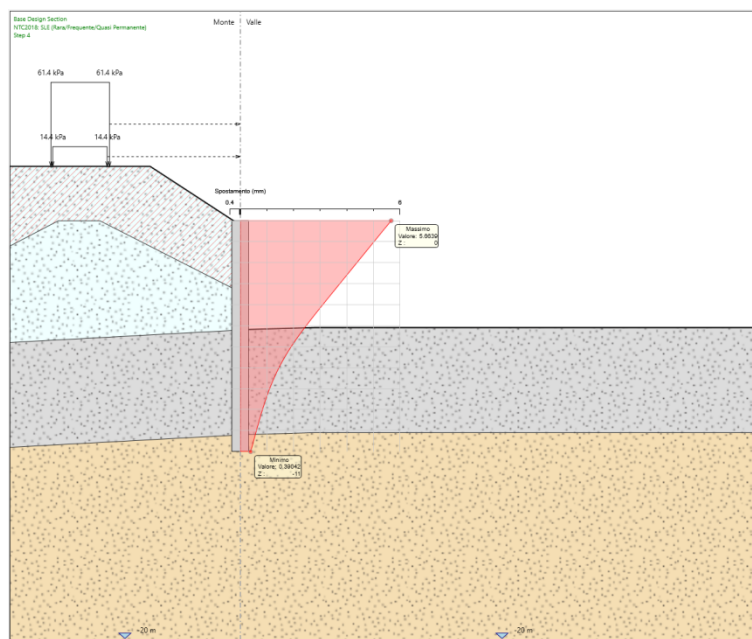


Figura 104 – Spostamenti della paratia allo SLE in condizioni statiche ($s_{h,max} = 5.7$ mm).

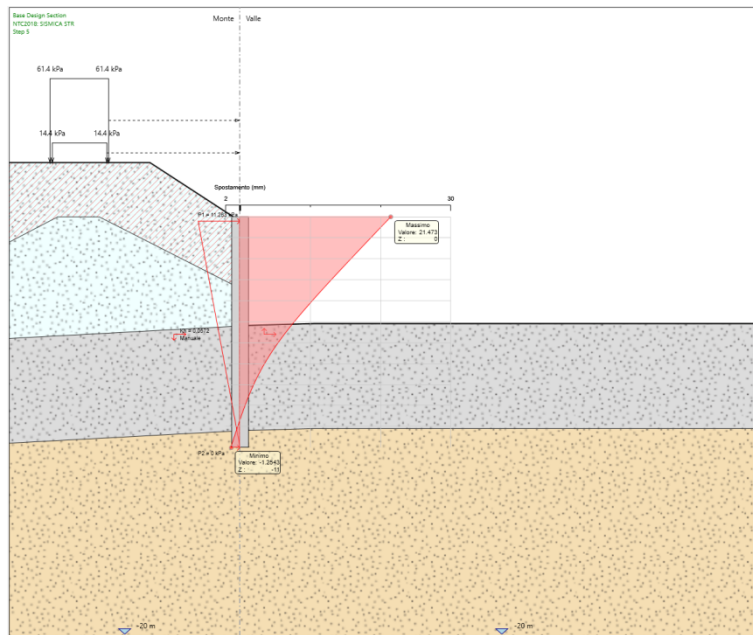


Figura 105 – Spostamenti della paratia allo SLD in condizioni sismiche ($s_{h,max} = 21.5$ mm).