

S.G.C. E78 GROSSETO - FANO

Tratto Selci Lama (E45) - S. Stefano di Gaifa.
Adeguamento a 2 corsie del tratto della Variante di Urbania

PROGETTO DEFINITIVO

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Claudio Muller</i></p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p> <p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> ★</p> <p>Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria)</p> <p>GPI INGEGNERIA GESTIONE PROGETTI INGEGNERIA srl</p> <p>(Mandante)</p> <p>cooprogetti cocoprogetti</p> <p>(Mandante)</p> <p>engeko</p> <p>(Mandante)</p> <p>AIM Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p> <p>IL PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 2):</p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> ORDINE INGEGNERI ROMA N° 14035</p>
<p>IL GEOLOGO</p> <p><i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i></p> <p>Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</p> <p><i>Ing. Vincenzo Catone</i></p>		
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

OPERE D'ARTE MINORI – OPERE DI SOSTEGNO PARATIE

Paratia dal km 0+425 al km 0+480

Relazione tecnica e di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T00OS01STRRE01_B		
DPAN247	D	22	CODICE ELAB. T00OS01STRRE01	B	-
D					
C					
B	Rev. Ist.U.0039705 24/01/22 e Ist.U.0057794 01/02/22	Feb.'22	Cori	Muller	Guiducci
A	EMISSIONE	Ottobre '21	Cori	Muller	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

<u>1</u>	<u>INTRODUZIONE.....</u>	<u>4</u>
<u>2</u>	<u>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</u>	<u>5</u>
<u>3</u>	<u>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</u>	<u>6</u>
3.1	CALCESTRUZZO.....	6
3.2	ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO	6
3.3	ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI.....	6
3.4	ACCIAIO PER TRAVI DI RIPARTIZIONE	7
3.5	MISCELE DI INIEZIONE	7
3.6	DRENAGGI.....	7
<u>4</u>	<u>CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA (SLU).....</u>	<u>8</u>
4.1	INTRODUZIONE	8
4.2	OPERE DI SOSTEGNO – PARATIE	10
4.2.1	<i>4.2.1 Criteri di analisi.....</i>	<i>10</i>
<u>5</u>	<u>AZIONE SISMICA.....</u>	<u>13</u>
<u>6</u>	<u>INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO.....</u>	<u>14</u>
<u>7</u>	<u>METODOLOGIE DI ANALISI.....</u>	<u>15</u>
7.1	ANALISI DELL’INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA.....	15
7.2	ANALISI DI STABILITA’	17
<u>8</u>	<u>SEZIONI DI CALCOLO.....</u>	<u>18</u>
8.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA STRUTTURA E SOVRACCARICHI	18
8.2	MODELLO DI CALCOLO.....	19
8.3	FASI DI CALCOLO	20
8.4	RISULTATI	21
<u>9</u>	<u>VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE.....</u>	<u>27</u>
9.1	VERIFICHE STRUTTURALI DEL PALO	27
9.2	VERIFICHE SLE DEL PALO.....	29
9.3	VERIFICHE SUI TIRANTI	30
9.4	VERIFICHE GEOTECNICHE A SFILAMENTO DEI TIRANTI	32
9.5	VERIFICHE A SFILAMENTO MALTA-ACCIAIO	33
9.6	VERIFICHE STRUTTURALI A ROTTURA DEI TIRANTI	34
9.7	VERIFICHE DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE	35
9.8	VERIFICHE STRUTTURALI SULLA TRAVE DI RIPARTIZIONE DEI TIRANTI	35
9.9	VERIFICA DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE	37

PROGETTAZIONE ATI:

9.10	VERIFICA DI STABILITÀ.....	39
9.10.1	<i>Globale</i>	40
10	TABULATO DI CALCOLO – ALLEGATO REPORT SOFTWARE PARATIE PLUS	43
10.1	DESCRIZIONE DEL SOFTWARE	43
10.2	DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA E DEGLI STRATI DI TERRENO	43
10.3	DESCRIZIONE PARETI.....	44
10.4	FASI DI CALCOLO	45
10.4.1	<i>GEOSTATICA</i>	45
10.4.2	<i>INFISSIONE PARATIA</i>	47
10.4.3	<i>SCAVO A QUOTA -3 METRI</i>	49
10.4.4	<i>INFISSIONE PRIMO TIRANTE</i>	51
10.4.5	<i>SCAVO A QUOTA -5.50</i>	53
10.4.6	<i>INFISSIONE SECONDO TIRANTE</i>	55
10.4.7	<i>SCAVO A QUOTA -6.75 METRI</i>	57
10.4.8	<i>FASE SISMICA</i>	59
10.5	DESCRIZIONE COEFFICIENTI DESIGN ASSUMPTION	61
10.5.1	<i>Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo</i>	61
10.6	DESCRIZIONE SINTETICA DEI RISULTATI DELLE DESIGN ASSUMPTION (INVILUPPI)	62
10.6.1	<i>Grafico Inviluppi Spostamento (SLE)</i>	62
10.6.2	<i>Tabella Inviluppi Momento WallElement</i>	63
10.6.3	<i>Grafico Inviluppi Momento</i>	65
10.6.4	<i>Tabella Inviluppi Taglio WallElement</i>	66
10.6.5	<i>Grafico Inviluppi Taglio</i>	68
10.6.6	<i>Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva</i>	69
10.7	NORMATIVE ADOTTATE PER LE VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	70
10.7.1	<i>Riepilogo Stage / Design Assumption per Inviluppo</i>	71
10.7.2	<i>Risultati Caver</i>	72
10.7.3	<i>Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver : LEFT</i>	72
10.7.4	<i>Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver</i>	74
10.7.5	<i>Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver : LEFT</i>	75
10.7.6	<i>Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver</i>	77
10.7.7	<i>Tabella Inviluppi Apertura Fessure - Caver : LEFT</i>	78
10.7.8	<i>Grafico Inviluppi Apertura Fessure - Caver</i>	80
10.7.9	<i>Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver : LEFT</i>	81
10.7.10	<i>Grafico Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver</i>	83

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.11	Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver : LEFT	84
10.7.12	Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver.....	86
10.7.13	Verifiche Tiranti NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti).....	87
10.7.14	Verifiche Tiranti NTC2018: SISMICA STR.....	88
10.7.15	Involuppo Verifiche Tiranti (su tutte le D.A. attive)	89
10.7.16	Verifiche strutturali sulla trave di ripartizione dei tiranti	90
10.7.17	Verifica di stabilità	92

1 INTRODUZIONE

La presente relazione è redatta nell'ambito della redazione del Progetto Definitivo dell'asse viario S.G.C. E78 GROSSETO-FANO – Tronco Selci Lama – S.Stefano di Gaifa – Lotto 7”.

In questa relazione si riportano i calcoli relativi al dimensionamento ed alle verifiche di una paratia di pali di linea, posta tra le progr. Km 0+425 - Km 0+480.

L'opera di sostegno è realizzata mediante pali trivellati in c.a. aventi diametro $D=800\text{mm}$ ed interasse $i=950\text{mm}$ e presenta più livelli di ancoraggio con tiranti in trefoli di acciaio armonico.

Le verifiche e i dimensionamenti sono stati condotti con riferimento al D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni, considerando per le opere una vita nominale di 50 anni e una classe d'uso IV.

Si riporta la sviluppata dell'opera:

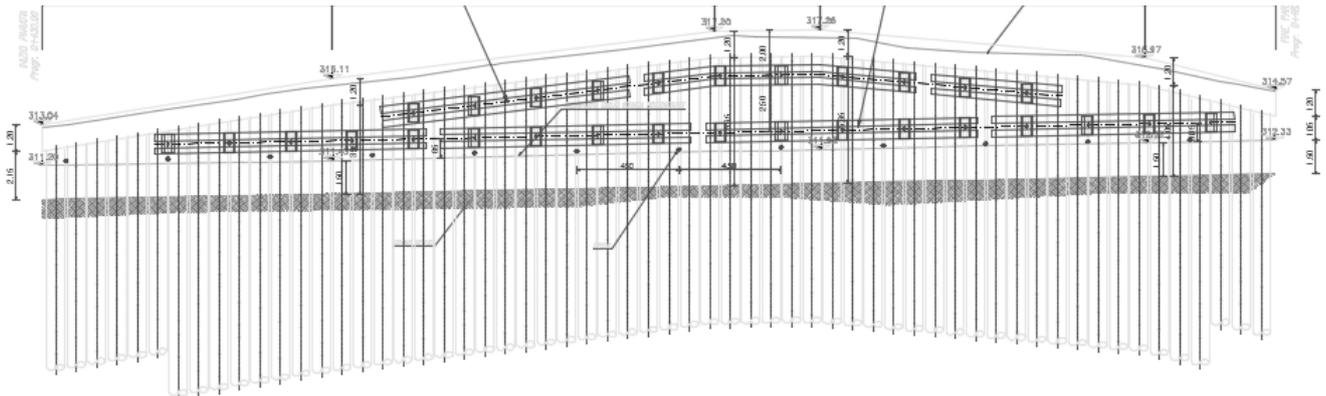


Figura 1: sviluppata della paratia di pali $L=55,0$ m

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le norme e circolari seguenti:

- D.M. Infrastrutture del 17.01.2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- UNI EN 1537:2002 – Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Tiranti di ancoraggio.
- UNI EN 206:2016 – "Calcestruzzo: specificazione, prestazione, produzione e conformità", Istruzioni complementari per l'applicazione delle EN 206-1

PROGETTAZIONE ATI:

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

CALCESTRUZZO PER MAGRONE:

CALCESTRUZZO UNI EN 206 – 1

Classe di resistenza: C12/15

Classe di esposizione X0 (I)

CALCESTRUZZO PER PALI E TRAVI:

CALCESTRUZZO UNI EN 206 – 1

Classe di resistenza: C28/35

Classe di consistenza: S5 (per i pali)

S3 (per le travi di coronamento)

Classe di esposizione: XC2 (I)

Rapporto max a/c: 0.55

Diametro max inerti: 32 mm

Copriferro minimo: 75 mm

Classe di contenuto di cloruri conforme a UNI EN 206 – 1

CALCESTRUZZO PROIETTATO

CALCESTRUZZO UNI 10834

- Classe di resistenza: CP20
- Classe di consistenza: S4/S5
- Classe di esposizione: XC2
- Diametro max inerti: 12 mm

3.2 ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Si impiegano barre in acciaio B450C controllato in stabilimento, caratterizzato dalle seguenti proprietà fondamentali:

$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$

$f_{tk} = 540 \text{ MPa}$

La resistenza di calcolo dell'acciaio f_{yd} è:

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1.15 = 391.3 \text{ MPa}$$

Il legame costitutivo adottato è quello di cui al § 4.1.2.1.2.2 – NTC 2018, curva b. Si assume $E_s = 200000 \text{ MPa}$.

3.3 ACCIAIO ARMONICO PER TREFOLI

Si impiegano trefoli di acciaio armonico con diametro da $\varnothing 0.6''$ e con le seguenti proprietà fondamentali:

a) Tensione caratteristica di rottura, $f_{ptk} = 1860 \text{ MPa}$

b) Tensione caratteristica corrISP. ad una deformazione dell'1% sotto carico, $f_{p(1)k} = 1670 \text{ MPa}$

PROGETTAZIONE ATI:

3.4 ACCIAIO PER TRAVI DI RIPARTIZIONE

Per le travi di ripartizione si utilizzano due profili HEB180 accoppiati di acciaio S355, con spessore minore di 40 mm e caratterizzato dalle seguenti proprietà fondamentali:

- Resistenza caratteristica allo snervamento $f_{yk}=355$ MPa;
- Resistenza caratteristica ultima $f_{uk}=510$ MPa;
- Modulo elastico $E=210000$ MPa;
- Coefficiente di Poisson $\nu=0.3$;
- Coefficiente di espansione termica lineare $\alpha=12 \times 10^{-6}$ per $^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- Densità $\rho=7850$ kg/cm³.

3.5 MISCELE DI INIEZIONE

Si utilizzano miscele cementizie per le iniezioni dei tiranti, con le seguenti caratteristiche:

- Cemento tipo II A-L 42,5R con filler
- Rapporto $a/c \leq 0.5$
- Classe C20/25
- Additivo antiritiro

3.6 DRENAGGI

Si utilizzano tubi in PVC, rivestiti con tessuto – non – tessuto 500 gr/mq.

4 CRITERI DI VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA (SLU)

4.1 INTRODUZIONE

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

essendo E_d il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito da una delle seguenti espressioni:

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

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico, definito come:

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

Dove $\gamma_F F_k$, X_k/γ_M e a_d rappresentano rispettivamente le azioni di progetto, i parametri geotecnici di progetto e i parametri geometrici di progetto.

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

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

Azioni

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I delle NTC-2018. Ad essi deve essere fatto riferimento con le precisazioni riportate nel § 2.6.1 delle NTC-2018. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidità.

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti di combinazione ψ_{ij} devono essere assunti come specificato nel Cap. 2 delle NTC-2018.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

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

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_G

Figura 2: tabella contenete i coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

In caso di analisi in condizione sismica, si adottano i seguenti coefficienti parziali

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.00	1.00

Resistenze

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II delle NTC-2018 e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;

sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Figura 3: tabella contenete i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Per le rocce, al valore caratteristico della resistenza a compressione uniaxiale q_u deve essere applicato un coefficiente parziale $\gamma_{qu}=1,6$.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali.

In caso di analisi in condizione sismica, si adottano i seguenti coefficienti parziali

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

Nelle sezioni che seguono saranno descritte in maggiore dettaglio le metodologie applicate ai casi esaminati: stabilità globale dell'insieme terreno - opera e opere di sostegno.

4.2 OPERE DI SOSTEGNO – PARATIE

4.2.1 CRITERI DI ANALISI

Le analisi sono condotte con riferimento alle Norme Tecniche 2018.

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:

1. Combinazione 1: (A1+M1+R1)
2. Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e adottando valori unitari per i coefficienti γ_R del gruppo R1.

Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli ancoraggi.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare rispettata la condizione con specifico riferimento ad uno stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione può essere effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.6.I.

Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

	Simbolo	Coefficiente parziale
Temporanei	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

Figura 4: tabella contenete i coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

La resistenza caratteristica allo sfilamento R_{ak} dell'ancoraggio può essere dedotta da:

- 1 risultati di prove di progetto su ancoraggi di prova;
- 2 metodi di calcolo analitici, dove R_{ak} è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Nel caso in esame si è utilizzato l'approccio b), in cui il valore della resistenza caratteristica R_{ak} è il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo.

Per la valutazione dei fattori ξ_{a3} e ξ_{a4} , si deve tenere conto che i profili di indagine sono solo quelli che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio.

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

Tab. 6.6.II

Numero degli ancoraggi di prova	1	2	> 2
ξ_{a1}	1,5	1,4	1,3
ξ_{a2}	1,5	1,3	1,2

Figura 5: tabella contenete i fattori di correlazione da applicare al valor medio e al valor minimo delle resistenze di calcolo

Nel caso in esame è stato considerato 1 profilo di indagine ed è stato assunto $\xi_{a3} = 1.80$ e $\xi_{a4} = 1.80$.

Per la valutazione della resistenza caratteristica allo sfilamento, si è fatto ricorso al metodo di Bustamante e Doix.

La resistenza laterale R_k è così determinata:

$$R_k = \tau_{lim} \cdot \pi \cdot D_e \cdot L$$

in cui:

- τ_{lim} = resistenza caratteristica lungo la superficie laterale del bulbo;
- $D_e = \alpha D$
- D = diametro di perforazione
- α = coefficiente che tiene conto dell'amplificazione del bulbo per effetto dell'iniezione
- L = lunghezza del bulbo

Per i terreni in cui ricade l'opera in oggetto (NSPT variabile tra 30 e 40) si adottano i seguenti parametri :

- $\tau_{lim} = 250$ kPa
- $D = 14$ cm
- $\alpha = 1.1$ (cautelativo)
- $L = 10$ m

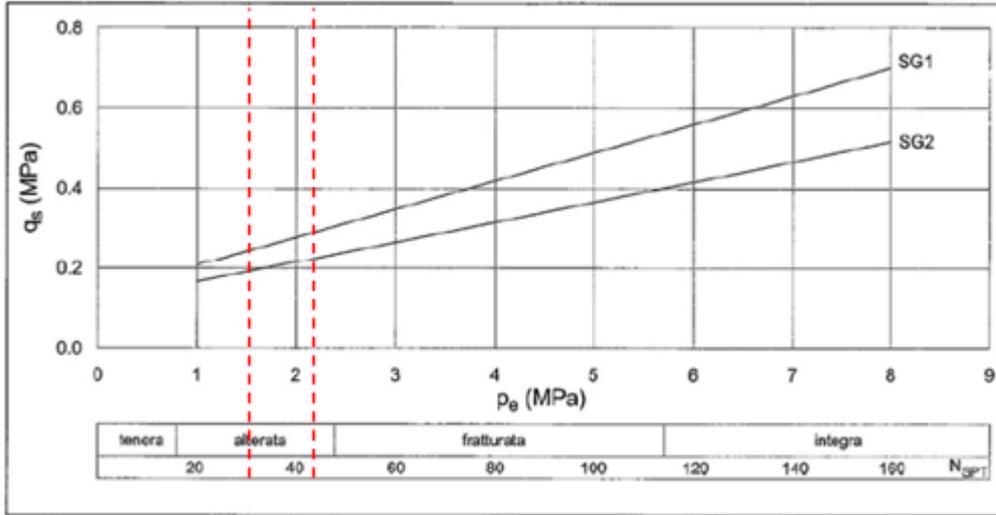


Figura 6: Resistenza unitaria limite per le marne ed i calcari (AGI, AICAP, 2012)

5 AZIONE SISMICA

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Il periodo di riferimento V_R è dato per ciascun tipo di costruzione dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove:

V_N vita nominale della costruzione;
 C_U coefficiente d'uso, definito al variare della classe d'uso.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_N (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Figura 7: tabella vita nominale della costruzione

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Figura 8: per il coefficiente definito dalla classe d'uso della costruzione

L'accelerazione di picco a_{max} , è espressa dalla relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

con

S_S coefficiente che tiene conto dell'amplificazione stratigrafica;
 S_T coefficiente di amplificazione topografica;
 a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento.

Il valore dell'accelerazione orizzontale massima è valutato in funzione della ubicazione geografica del sito (Lat. 43,676685 Long. 12,492395) e in funzione del periodo di riferimento V_R (pari al prodotto della vita nominale V_N per il coefficiente di utilizzo C_U).

Nel caso in esame si ha:

Vita nominale	50
Classe d'uso	IV
Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T1

Le verifiche dell'opera sono state svolte nei confronti dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) caratterizzato da tempo di ritorno $T_R = 949$ anni.

Per la valutazione dell'azione sismica si è utilizzato il metodo di Wood.

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOTECNICO

Ai fini dei calcoli progettuali delle opere in esame è stata utilizzata la seguente caratterizzazione geotecnica delle unità geotecniche interessate dalle opere.

Parametri geotecnici caratteristici	SUB_alt	SUB
Peso di volume γ [kN/m ³]	21.0	24.0
Angolo di resistenza a taglio ϕ [°]	27.0	28.0
Coesione efficace c [kPa]	15.0	40.0
Modulo di Young E [MPa]	150	300

Figura 11: tabella riassuntiva caratteristiche meccaniche terreni in sito

La stratigrafia di calcolo, a partire dal piano campagna, è costituita da:

- Unità SUB_alt, con spessore di circa 4 m;
Unità SUB;

In asse della paratia, la falda si trova ad una profondità sottostante l'opera di sostegno.

7 METODOLOGIE DI ANALISI

7.1 ANALISI DELL'INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

L'interazione terreno struttura è stata analizzata mediante un modello del tipo "trave su molle" attraverso il codice di calcolo Paratie Plus (v. 21.0).

Le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi di terreno (Figura 1).

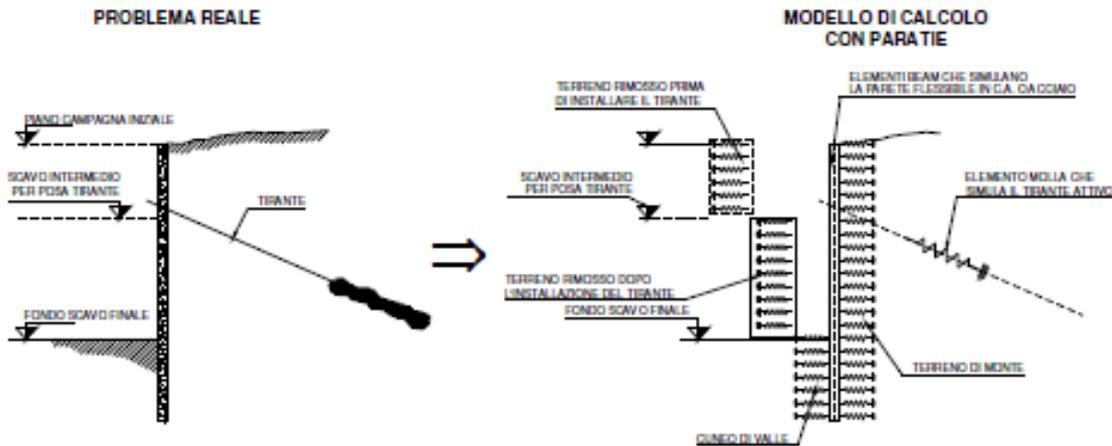


Figura 1 - Modellazione dell'interazione terreno-struttura

Elementi molla vengono utilizzati anche per simulare eventuali tiranti, questi sono caratterizzati da una rigidità assiale EA/L , dove E è il modulo elastico del materiale costituente il tirante, A l'area per unità di larghezza del tirante nel tratto deformabile e L la lunghezza del tratto deformabile del tirante, che può essere stimata come indicato nella Figura 2; il coefficiente η in Figura 2 è stato assunto pari a 0,5 nella presente relazione.

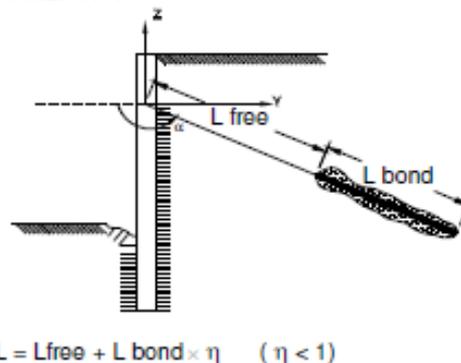


Figura 2 - Lunghezza deformabile del tirante

I tiranti provocano nel modello due effetti: un supporto attivo già presente subito dopo l'installazione (forza di pretensione) nel caso di tiranti attivi; una forza dovuta allo spostamento della testa del tirante, proporzionale allo spostamento e alla sua rigidità assiale.

Il pendio eventualmente presente a monte della paratia è rappresentato mediante sovraccarico su terreno orizzontale, la cui entità viene valutata interpolando le quote intermedie della superficie inclinata con un passo di discretizzazione costante ed assegnando il rispettivo peso per unità di volume. Il sovraccarico presente a monte provoca una variazione alla Boussinesq di tensioni verticali efficaci all'interno del terreno.

PROGETTAZIONE ATI:

La tensione verticale efficace σ'_{vo} nel terreno è calcolata in Paratie Plus indipendentemente dalle deformazioni alle quali la parete è soggetta attraverso semplici formule che tengono conto, fase per fase, della quota del piano campagna e dei sovraccarichi.

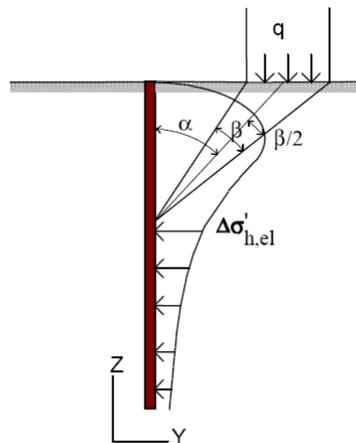
Nella fase iniziale (prima dello scavo), la tensione orizzontale efficace nel generico elemento terreno è calcolata come segue:

$\sigma'_{ho} = K_0 \sigma'_{vo}$ in assenza di carichi di superficie;

$\sigma'_{ho} = K_0 \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_{ho}$ in presenza di carichi di superficie;

dove K_0 è il coefficiente di spinta a riposo, $\Delta\sigma'_{ho}$ è l'incremento di sforzo efficace dovuto al sovraccarico. Quest'ultimo è calcolato attraverso la soluzione del semispazio elastico sollecitato da un carico nastriforme; la formula è applicata ipotizzando il piano libero del semispazio elastico coincidente con la quota di imposta del sovraccarico

Lo sforzo orizzontale varia durante le analisi in funzione degli spostamenti della paratia.



$$\Delta\sigma'_{h,el} = \frac{q}{\pi} (\beta - \text{sen}\beta\cos 2\alpha)$$

$$\Delta\sigma'_{v,el} = \frac{q}{\pi} (\beta + \text{sen}\beta\cos 2\alpha)$$

Figura 3 – Distribuzione degli sforzi sulla paratia

7.2 ANALISI DI STABILITA'

Le analisi di stabilità globale dell'opera di stabilità locale delle scarpate sono state condotte con il metodo all'equilibrio limite di Bishop attraverso il software Paratie Plus.

La superficie di scorrimento critica associata al coefficiente di sicurezza minimo è stata determinata dal programma analizzando numerose superficie di scorrimento aventi i centri contenuti all'interno di una griglia fitta determinata all'interno delle proprietà di analisi.

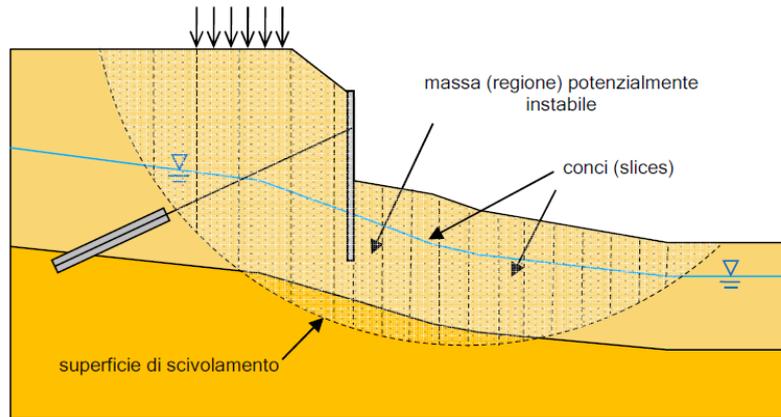


Figura 4 – Paratie plus – verifica di stabilità globale

Un tirante/chiodo può costituire un contributo ai fini della stabilità della massa potenzialmente instabile.

Paratie Plus include tale contributo nel seguente modo:

1. determina la resistenza di calcolo F_{anchor} disponibile, pari al minimo tra
 - la resistenza strutturale
 - la resistenza del tratto ancorato al terreno, per la sola quota-parte della fondazione esterna alla superficie di scivolamento ($L_{B,avl}$ in figura)
2. individua il concio la cui base contiene l'intersezione tra la superficie di scivolamento e il tirante;
3. nel risolvere le condizioni di equilibrio locale di quel concio, aggiunge il contributo F_{anchor} ;
4. assembla il contributo del concio, dipendente quindi anche dalla resistenza di calcolo del tirante.

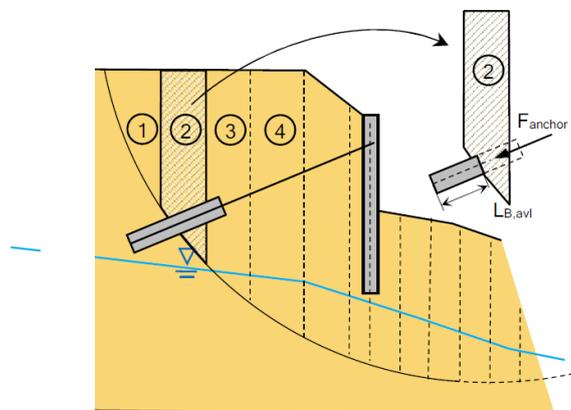


Figura 5 – Paratie plus – inserimento tirante/chiodo

PROGETTAZIONE ATI:

8 SEZIONI DI CALCOLO

8.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA STRUTTURA E SOVRACCARICHI

Nella **Tabella 1** sono riportate le caratteristiche geometriche della struttura ed i sovraccarichi.

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'OPERA E SOVRACCARICHI	
Tipologia	Pali $\phi 800$ passo 0.95 m
Armatura	Armatura Longitudinale: 12 $\phi 20$ Armatura a Taglio: $\phi 10/15$
Altezza totale paratia H	12 m
Altezza di scavo paratia	6.75 m
Ordini di tiranti (n°)	2
Passo orizzontale tiranti	2,85 m
Inclinazione piano campagna a monte	-
Inclinazione piano campagna a valle	-
Sovraccarichi permanenti a monte	-
Sovraccarichi permanenti a valle	-
Sovraccarichi variabili a monte	20 kPa (sovraccarico accidentale stradale)
Sovraccarichi variabili a valle	-

Tabella 1 - Sezione 2-Caratteristiche geometriche della struttura e sovraccarichi

8.2 MODELLO DI CALCOLO

La Figura 6 mostra il modello di calcolo dell'opera in corrispondenza della Sezione di verifica 2 nella configurazione finale. La quota di falda si trova al di sotto della quota del fondo scavo.

Terreni	c' [kPa]	φ' [°]
SUB ALTERATO Sabbia / Ghiaia	15	27
SUB Sabbia / Ghiaia	40	28

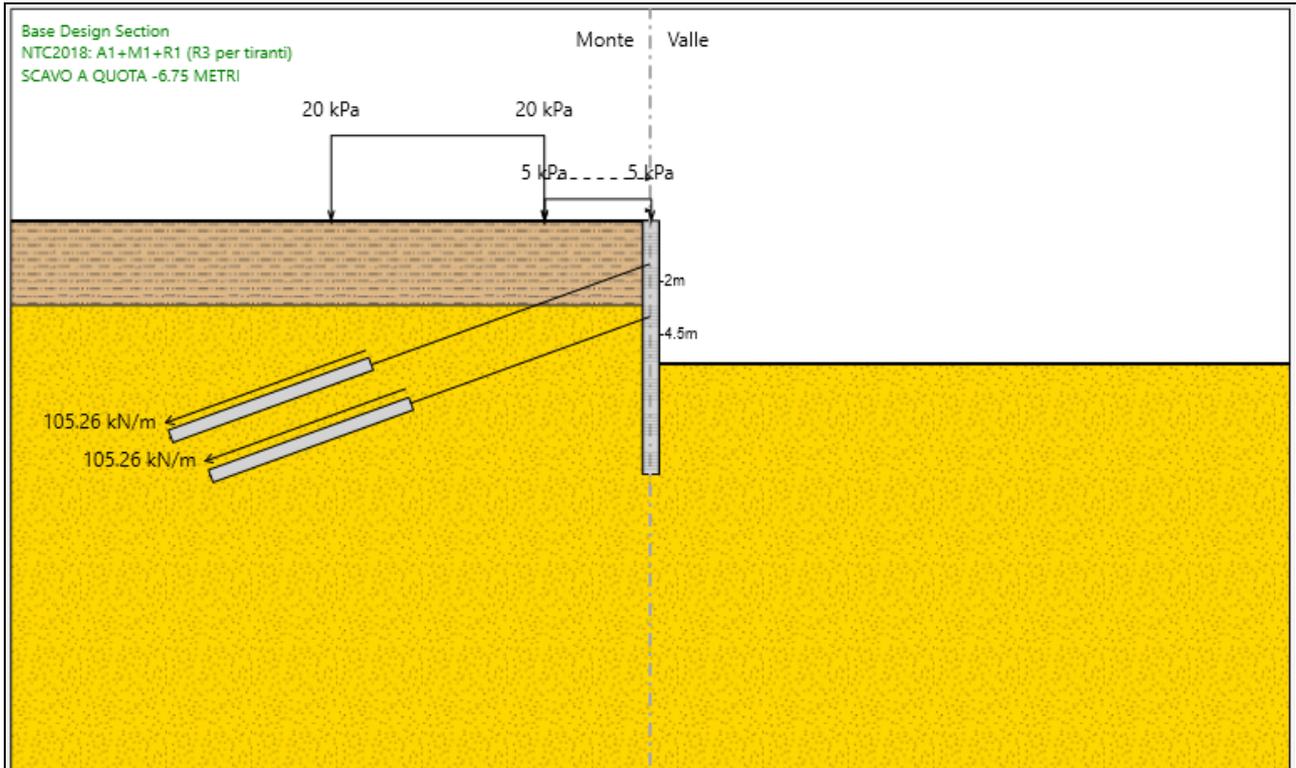


Figura 6 - Modello di calcolo

8.3 FASI DI CALCOLO

Le fasi di calcolo sono le seguenti:

FASI DI CALCOLO
Fase 1 – Step geostatico
Fase 2 - Simulazione della paratia di pali e applicazione del carico variabile Q_1 (rappresentativo del traffico stradale);
Fase 3 – Realizzazione scavo a -3.00 m da piano campagna;
Fase 4 – Installazione del primo ordine di tiranti e pretiro dello stesso;
Fase 5 – Realizzazione scavo a -4.5 m da piano campagna;
Fase 6 – Installazione del secondo ordine di tiranti e pretiro dello stesso;
Fase 7 – Scavo fino alla quota di fondo scavo pari a quota -6.75 m
Fase 8 – Applicazione della forza sismica con procedura automatica mediante incremento di spinta valutato secondo la teoria di Wood.

Tabella 2 - Fasi di calcolo.

8.4 RISULTATI

Nelle figure seguenti si riporta:

- Momento flettente sulla paratia in tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 7);
- Inviluppo del momento flettente sulla paratia in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 8);
- Momento flettente sulla paratia in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR) (Figura 9);
- Sforzo di taglio sulla paratia in tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 10);
- Inviluppo dello sforzo di taglio sulla paratia in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 11);
- Sforzo di taglio sulla paratia in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR) (Figura 12);
- Tiro nei tiranti per tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 13);
- Inviluppo dello sforzo assiale sui tiranti in condizioni statiche (SLU-STR) (Figura 14);
- Sforzo assiale sui tiranti in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR) (Figura 15).

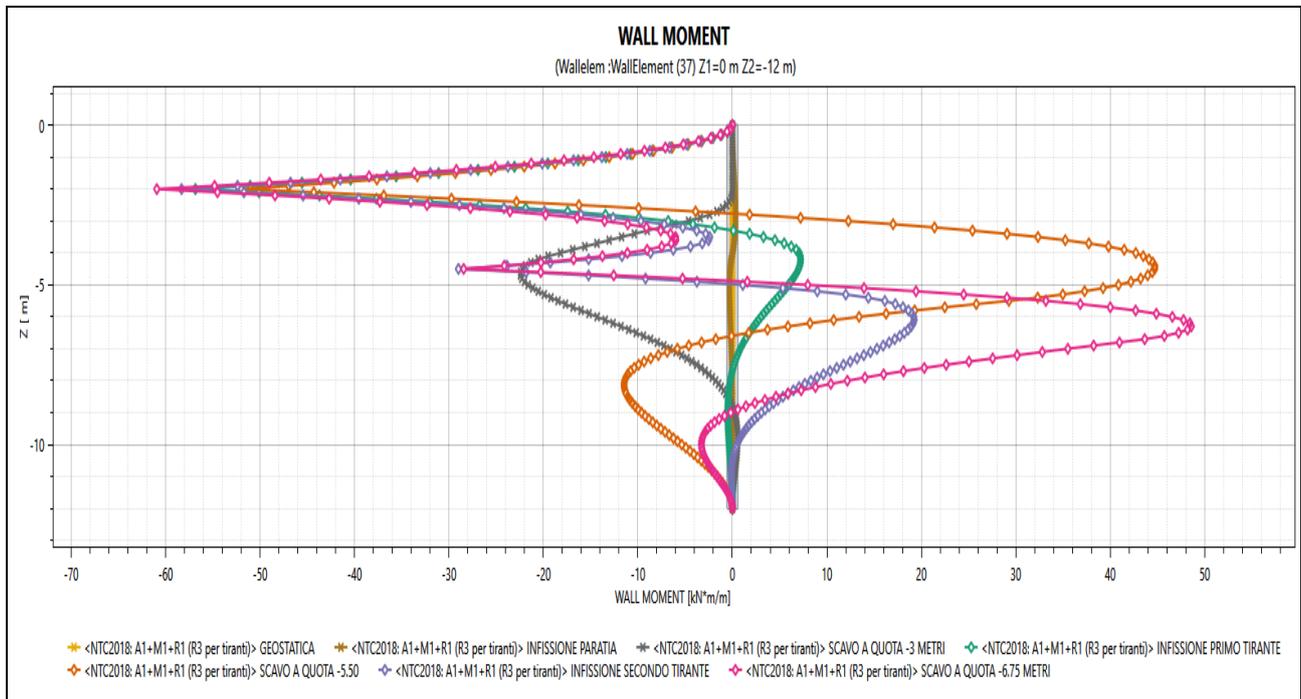


Figura 7 - Momento flettente sulla paratia per tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR)

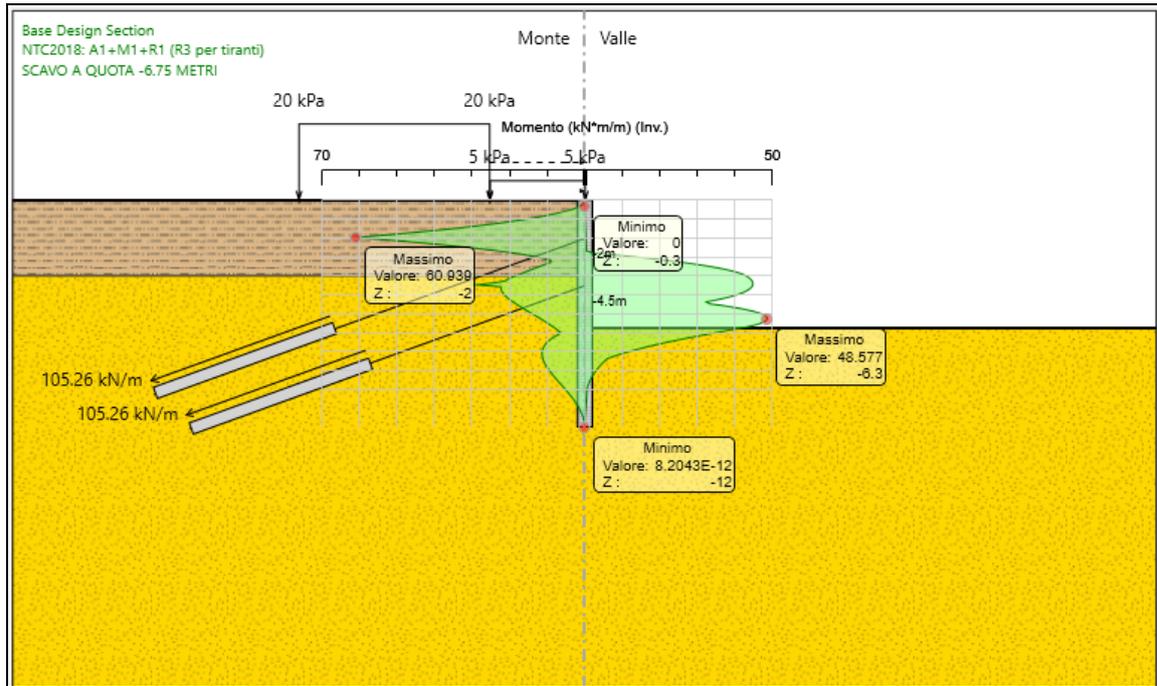


Figura 8 - Involuppo del momento flettente in condizioni statiche (SLU-STR)

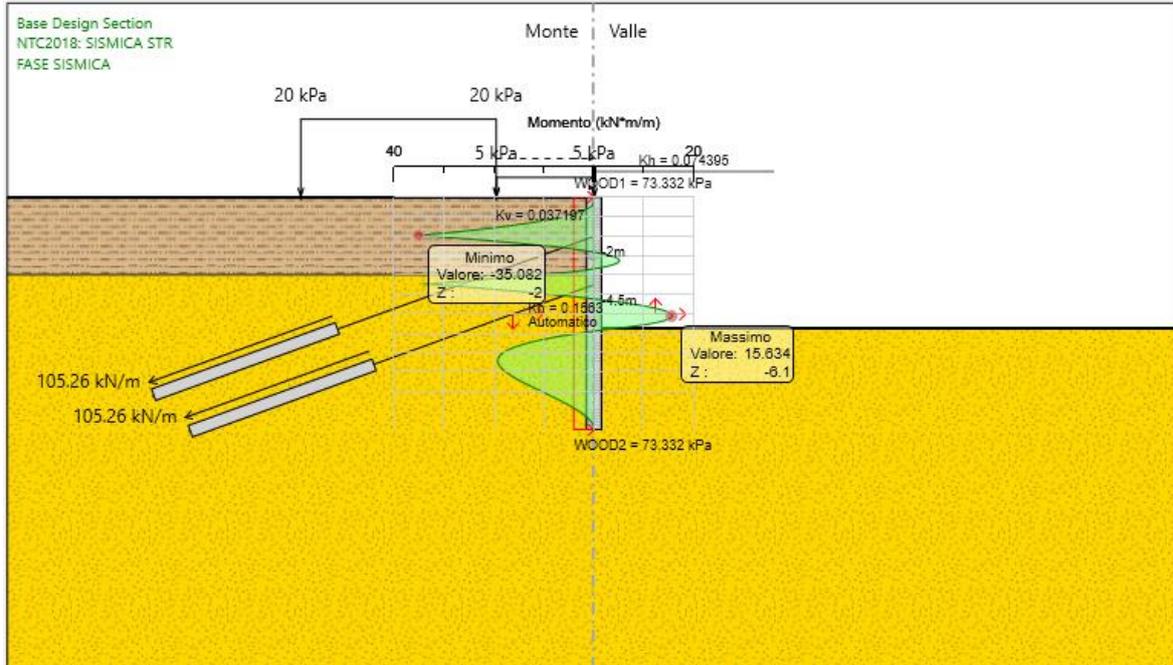


Figura 9 - Momento flettente sulla paratia in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR)

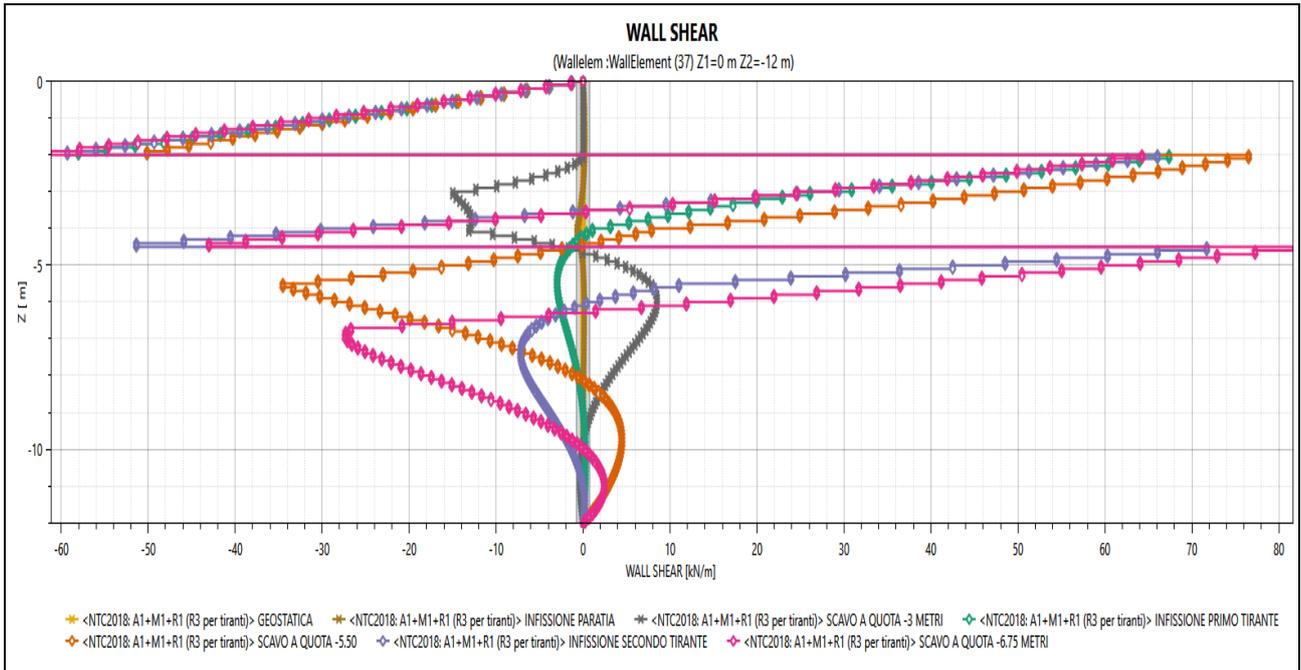


Figura 10 - Sforzo di taglio sulla paratia per tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR)

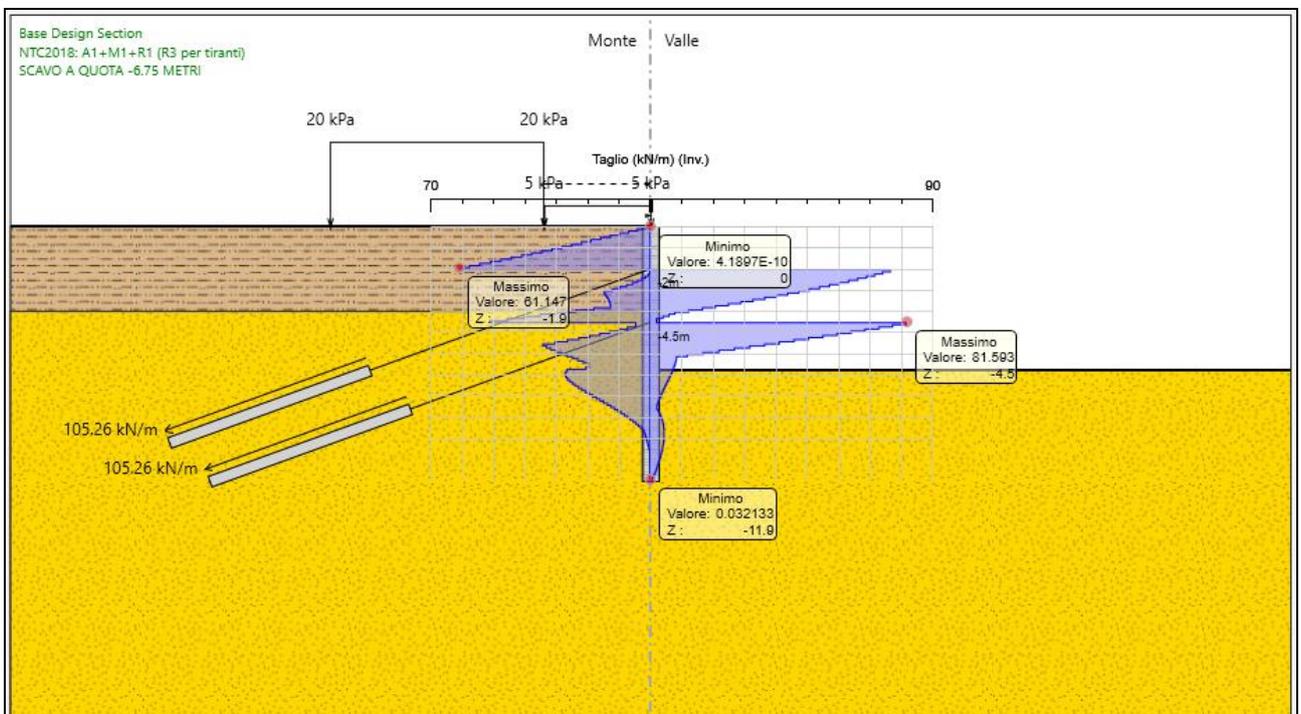


Figura 11 - Involuppo dello sforzo di taglio sulla paratia in condizioni statiche (SLU-STR)

PROGETTAZIONE ATI:

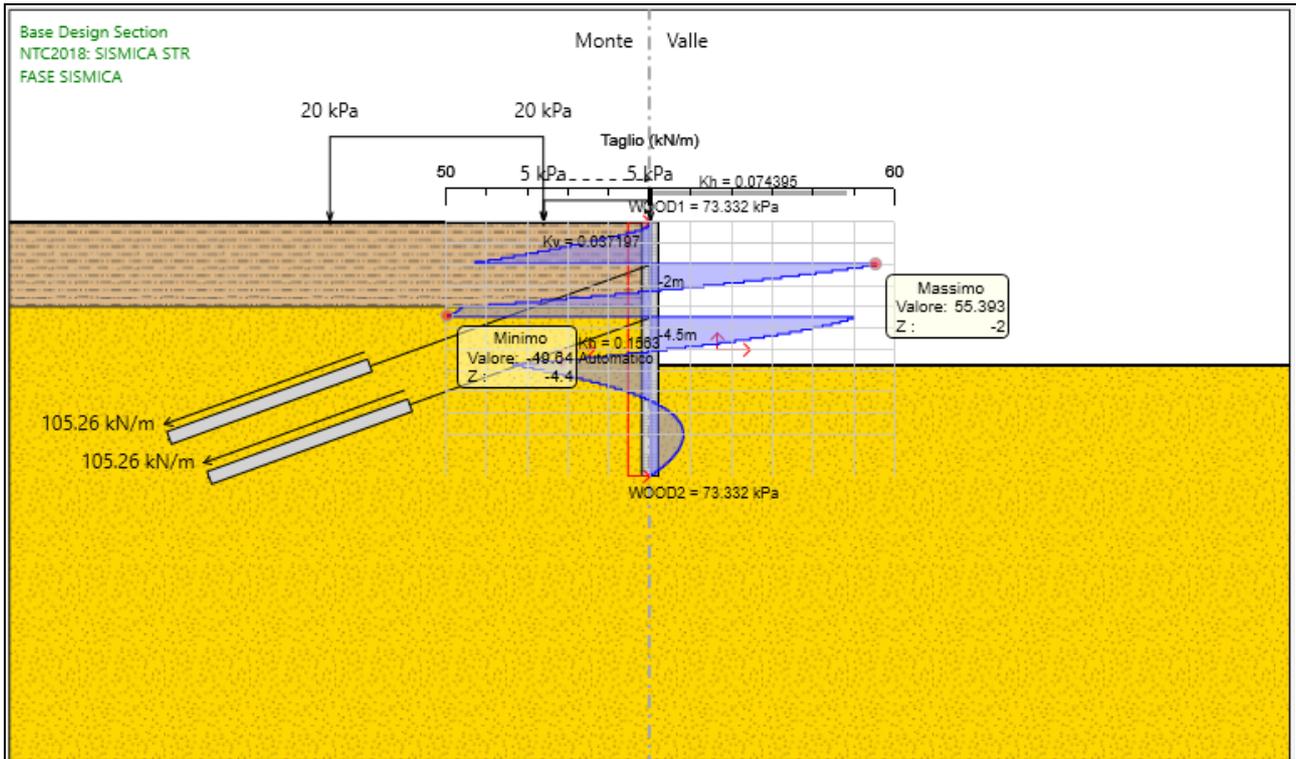


Figura 12 - Sforzo di taglio sulla paratia in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR)

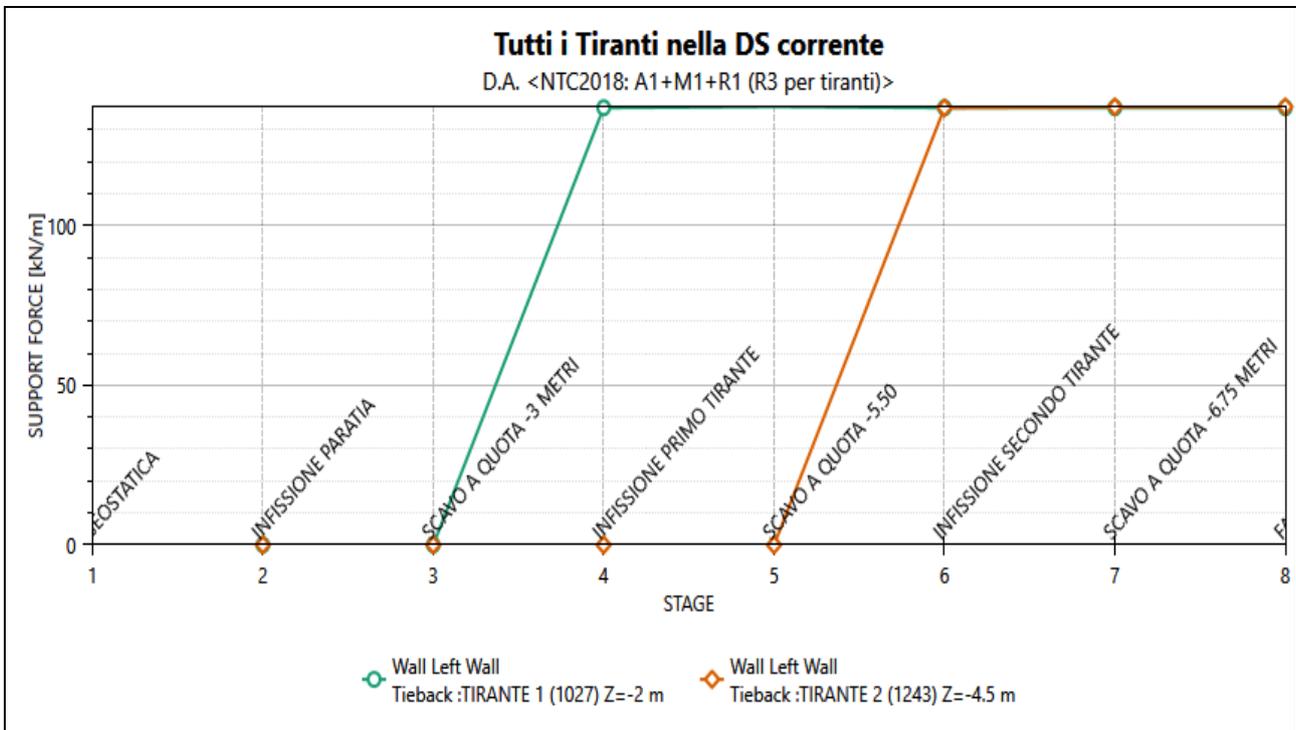


Figura 13 - Tiro nei tiranti per tutte le fasi in condizioni statiche (SLU-STR)

PROGETTAZIONE ATI:

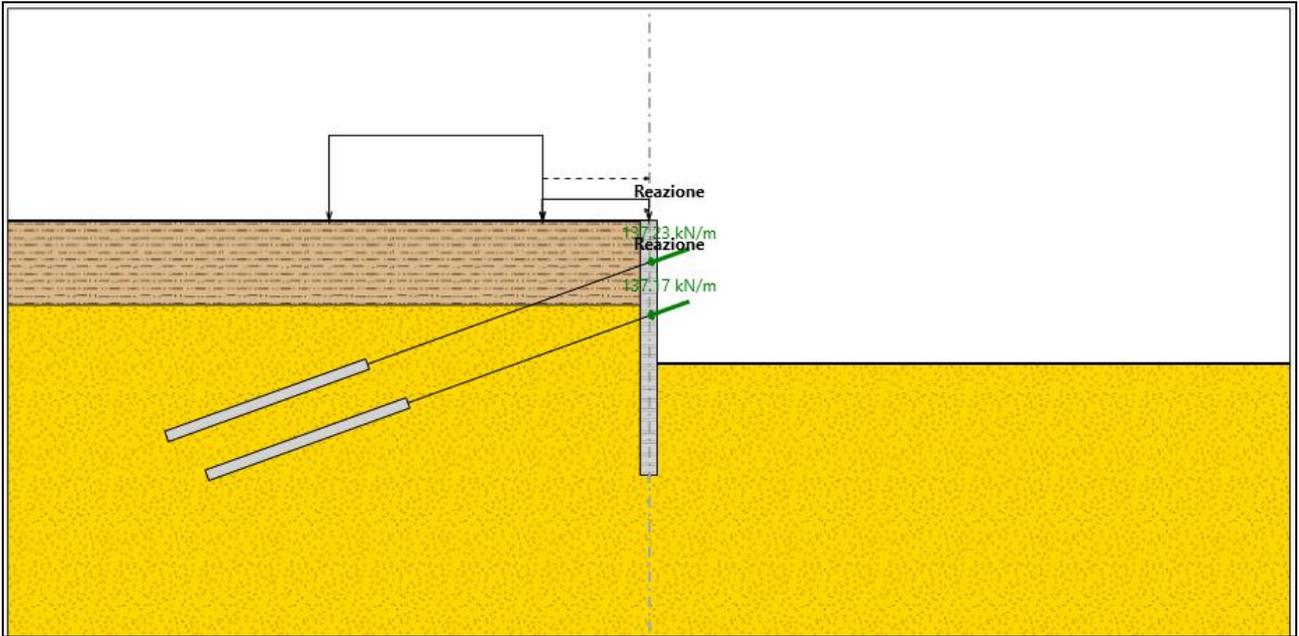


Figura 14 - Involuppo del tiro nei tiranti in condizioni statiche (SLU-STR)

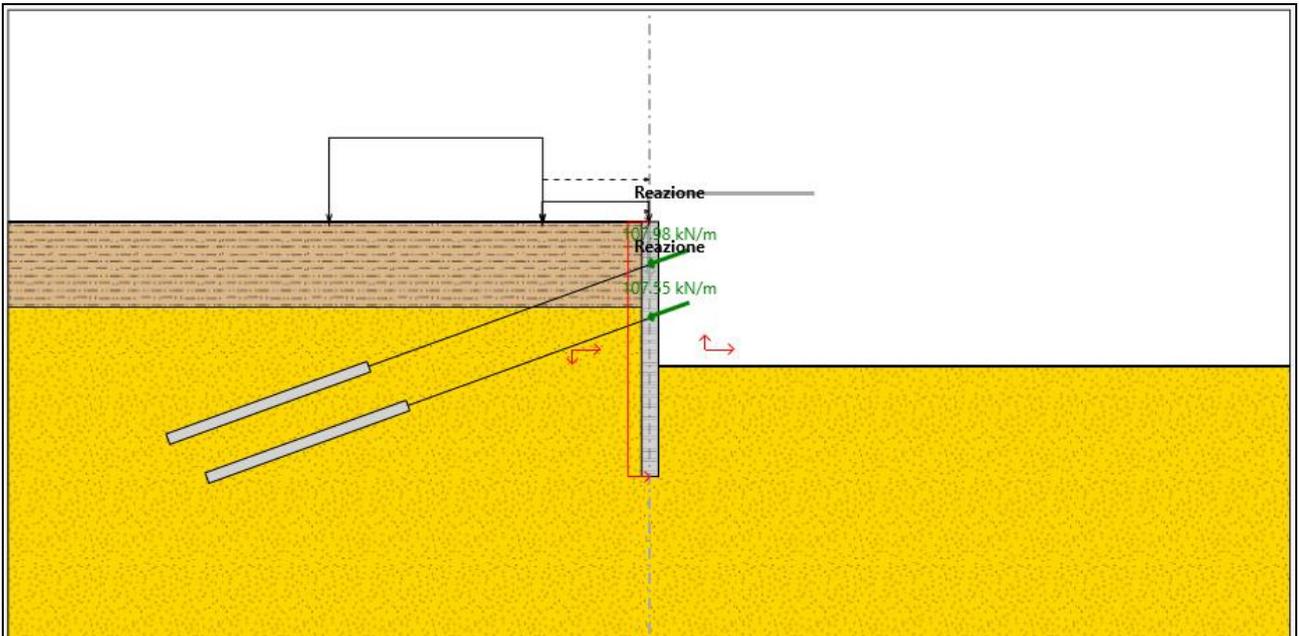


Figura 15 – Sforzo assiale nei tiranti in condizioni sismiche in fase finale (SLV-STR)

PROGETTAZIONE ATI:

In sintesi le tabelle seguenti mostrano:

- Valori massimo e minimo dei momenti flettenti sulla paratia (Tabella 3);
- Valori massimo e minimo degli sforzi di taglio sulla paratia (Tabella 4);
- Valore massimo dello sforzo assiale sui tiranti (Tabella 5).

Condizione di carico	Momento flettente massimi	Momento flettente minimo
(-)	(kN/m*m)	(kN/m*m)
Statica (SLU STR)	48.577	-60.939
Sismica (SLV STR)	15.634	-35.082

Tabella 3 – Valori massimo e minimo del momento flettente sulla paratia

Condizione di carico	Taglio massimo	Taglio minimo
(-)	(kN/m)	(kN/m)
Statica (SLU STR)	81.593	-61.147
Sismica (SLV STR)	55.393	-49.64

Tabella 4 – Valori massimo e minimo di sforzo di taglio sulla paratia

Ordine	D _p	n _{tr}	A _{tr}	L _p	L _a	i	α	Pretensione	Cond.	T _{max}
(-)	(mm)	(-)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(°)	(kN)	(-)	(kN/m)
1.00	140.00	4.00	139.00	14.00	10.00	2.85	20.00	300.00	SLU STR	137.23
2.00		4.00		12.00	10.00	2.85	20.00	300.00		137.17
1.00	140.00	4.00	139.00	14.00	10.00	2.85	20.00	300.00	SLV STR	107.98
2.00		4.00		12.00	10.00	2.85	20.00	300.00		107.55

Tabella 5 – Valore massimo dello sforzo assiale sui tiranti

PROGETTAZIONE ATI:

9 VERIFICHE STRUTTURALI E GEOTECNICHE

9.1 VERIFICHE STRUTTURALI DEL PALO

Le verifiche a flessione e a taglio del palo sono stata effettuata mediante il software RC-SEC della GEOSTRU.

Le verifiche sono state condotte per lo stato limite ultimo e per lo stato limite di salvaguardia della vita rispettivamente per le sezioni con taglio maggiore e le sezioni con momento maggiore.

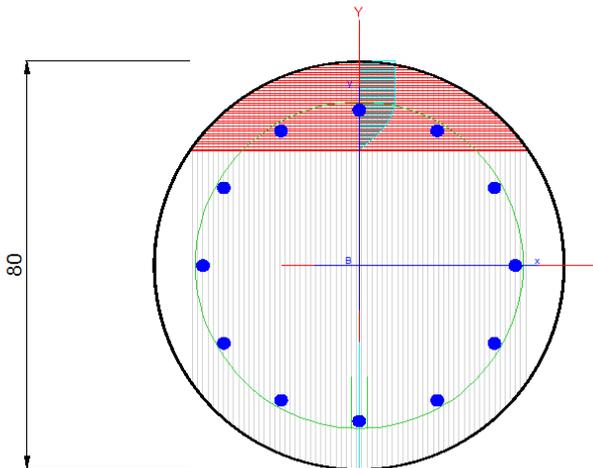
Il palo è stato armato a flessione mediante 12 ϕ 20 ed a taglio mediante spirale ϕ 10/15.

Di seguito sono riportate le verifiche.

	M [kNm]	T [kN]
T _{max} SLU	57.89	72.7
M _{max} SLU	42.47	77.51
T _{max} SLV	33.33	52.62
M _{max} SLV	33.33	52.62

Tabella 6-Sollecitazioni di calcolo

Nome sezione: PALO PARATIA DEFINITIVA Comb. n. 1 (S.L.U.)
Coprif. netto minimo barre long.: 8.5 cm Coprif. netto staffe: 7.5 cm



sezione verificata

Tipo Combinazione	N.Comb.	C. Non Ver.
S.L.U. Comb. Ultime (Calcolo Resistenza)	3	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	2	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	2	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	2	

Combinazione N° **1** Combinazione verificata

Resistenza Fless.Composta: Misura sic.=7.50 [OK se > 1.0]

Sforzi assegnati	Sforzi resistenti	Deform. un
N = 0.00 kN	N Res = 0.02 kN	Def.max Cl
Mx = 57.89 kNm	Mx Res = 433.97 kNm	Def.min Cl
		Def.max Fe
	Curv.Max=0.000201269 1/cm	Def.min Fe
	As tesa= 28.3 cm ²	Asse neutr
	As compr.=9.4 cm ²	x/d = 0.

Taglio (SLU.): Misura sicurezza = 0.082 [OK se <= 1.0]

Sforzi Dati/Ultimi	Staffe di Comb.	Staffe Involuppo
TAGLIO:	As St.= 1.3cm ² /m	Astaffe=10.5 cm ² /m
Vy = 72.70 kN		Diam.Staffe:Ø10 mm
VSdu = 72.70 kN		Passo Staffe = 15.0 cm
VRcd = 890.48 kN		N° bracci Staffe = 2
VRwd = 577.68 kN		
bw = 64.7 cm		
d = 65.9 cm		

Figura 16-Verifica a flessione e taglio

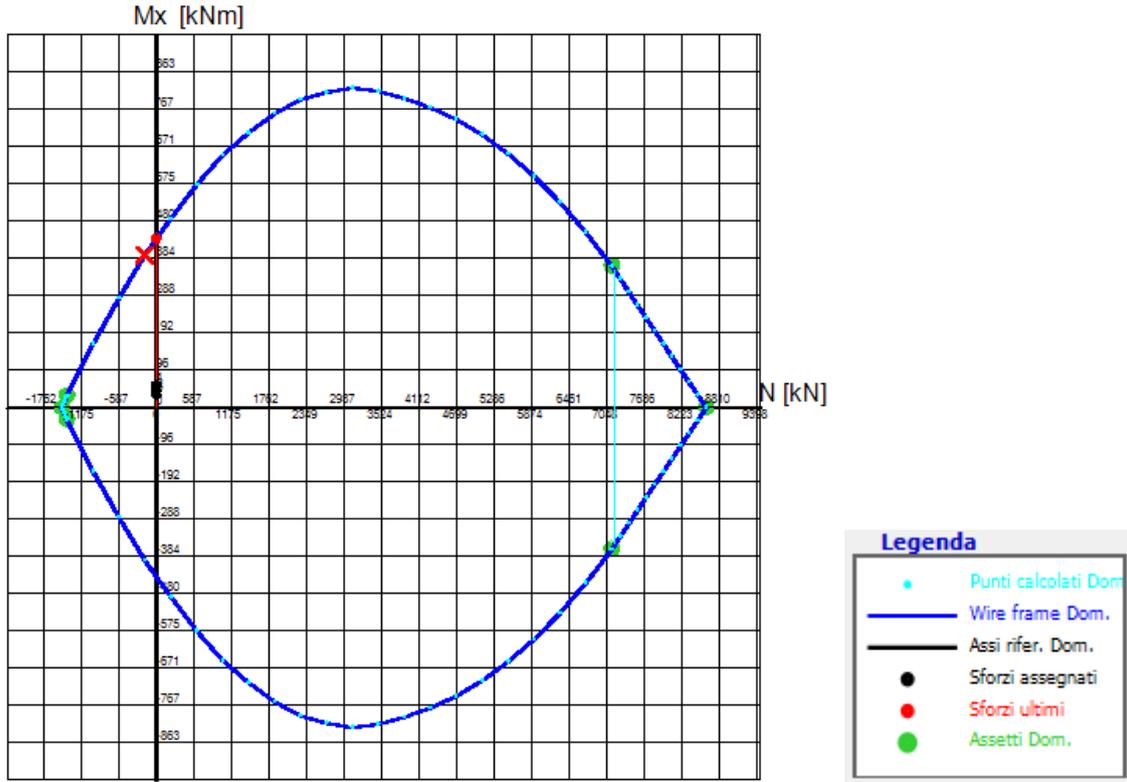


Figura 17-Dominio M-N

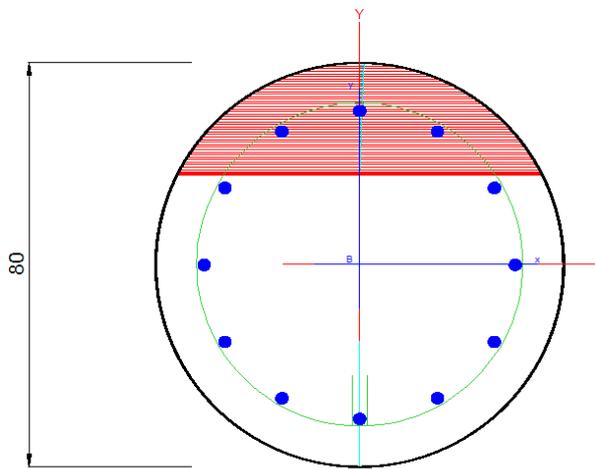
9.2 VERIFICHE SLE DEL PALO

Le verifiche a esercizio del palo sono state effettuate mediante il software RC-SEC della GEOSTRU.

Il momento massimo agente allo SLE è pari a 44.60 kNm.

Di seguito si riporta la verifica.

Nome sezione: PALO PARATIA DEFINITIVA Comb. n. 1 (S.L.E. rare)
Coprif. netto minimo barre long.: 8.5 cm Coprif. netto staffe: 7.5 cm



sezione verificata

Tipo Combinazione	N.Comb.	C. Non Ver.
S.L.U. Comb.Ultime (Calcolo Resistenza)	3	
S.L.E. Comb. Rare (Esercizio)	2	
S.L.E. Comb. Frequenti (Esercizio)	2	
S.L.E. Comb. Quasi Permanenti (Esercizio)	2	

Combinazione N° **1** **Combinazione verificata**

Flessione Composta (S.L.E.)

i	Tensioni-Deform.	Apertura fessure
	Sc max =1.70 MPa	Apert.fessure = 0.117 mm
n	Sc limite =11.25 MPa	Apert. limite = 0.200 mm
	Sc min =0.00 MPa	Dist. fessure =695 mm
	Sf min =-56.33 MPa	Area efficace =1875 cm ²
	Sf limite =-360.00 MPa	Coeff. K3 = 0.500
	As compr.=9.4 cm ²	x/d = 0.00

Figura 18-Verifica tensioni di esercizio

9.3 VERIFICHE SUI TIRANTI

Nel prospetto che segue, per ciascun ordine di tiranti, sono riportate le principali caratteristiche geometriche e strutturali e gli sforzi di calcolo massimi tra le combinazioni statica e sismica. Si sottolinea che la lunghezza libera del tirante, riportata in tabella è da intendersi comprensiva dell'incremento valutato in condizioni sismiche secondo la formulazione (D.M.14/01/2018 nel § 7.11.6.4) funzione della massima accelerazione sismica di progetto.

Ordine	D _p	n _{tr}	A _{tr}	L _p	L _a	i	α	Pretensione	Cond.	T _{max}
(-)	(mm)	(-)	(mm ²)	(m)	(m)	(m)	(°)	(kN)	(-)	(kN/m)
1.00	140.00	4.00	139.00	14.00	10.00	2.85	20.00	300.00	SLU	137.23
2.00		4.00		12.00					STR	137.17
1.00	140.00	4.00	139.00	14.00	10.00	2.85	20.00	300.00	SLV	107.98
2.00		4.00		12.00					STR	107.55

Tabella 7- Caratteristiche geometriche dei tiranti e risultati ottenuti dalle analisi

Dove:

- D_p: diametro di perforazione della fondazione del tirante
- N_{tr}: numero di trefoli per tirante
- A_{tr}: area del singolo trefolo
- L_p: lunghezza libera del tirante
- L_a: lunghezza della fondazione del tirante
- l: interasse orizzontale dei tiranti
- α: inclinazione sull' orizzontale del tirante
- N_{s,d}: azione sollecitante sui tiranti

Affinché i tiranti di ancoraggio assolvano al meglio la loro funzione statica di sostegno della parete, è opportuno che il bulbo di fondazione si trovi completamente all'esterno del cuneo di spinta attiva che può nascere a tergo della paratia durante le fasi di costruzione e di esercizio dell'opera.

La geometria del cuneo di spinta attiva nel caso delle paratie multi ancorate può essere determinata secondo vari criteri, nel seguito si fa riferimento allo schema secondo cui il cuneo di spinta è delimitato da una retta inclinata sull'orizzontale di un angolo pari a $(\pi/4 + \varphi/2)$, traslata verso il basso di una quantità pari a $0.1 \cdot H_{\text{Scavo}}$ e traslata verso monte di una quantità pari al massimo tra $0,2 \cdot H_{\text{Scavo}}$ e 1,5 m.

La seguente figura generica rappresenta graficamente il criterio geometrico adottato per la determinazione del valore minimo del tratto libero d'ancoraggio.

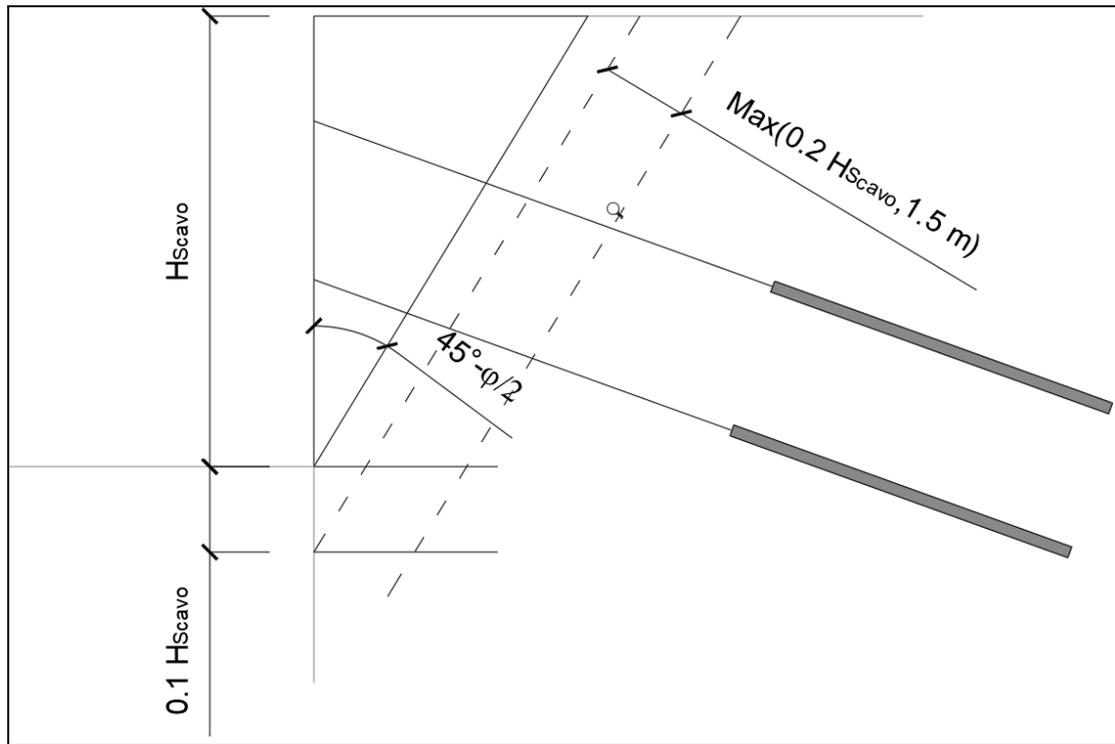


Figura 19 - Criterio per la determinazione del tratto libero d'ancoraggio dei tiranti

Nella

Ordine Tiranti [-]	H [m]	α [°]	φ [°]	Infissione [m]	h_t [m]	a_{max}/g [-]	Lunghezza Libera Cond. Statiche [m]	Lunghezza Libera Cond. Sismiche [m]	Lunghezza Libera di progetto [m]
1	6.75	20	28	5.25	2	0.266	4.221645067	5.906081448	14
2	6.75	20	28	5.25	4.5	0.266	2.909950353	4.071020544	12

Tabella 8, in funzione del criterio sopra esposto, si riporta la lunghezza libera in condizioni statiche, la lunghezza libera in condizioni sismiche e la lunghezza libera di progetto.

Ordine Tiranti [-]	H [m]	α [°]	φ [°]	Infissione [m]	h_t [m]	a_{max}/g [-]	Lunghezza Libera Cond. Statiche [m]	Lunghezza Libera Cond. Sismiche [m]	Lunghezza Libera di progetto [m]
1	6.75	20	28	5.25	2	0.266	4.221645067	5.906081448	14
2	6.75	20	28	5.25	4.5	0.266	2.909950353	4.071020544	12

Tabella 8-Sezione 1-Lunghezza libera tiranti

Dove:

- α rappresenta l'angolo di inclinazione del tirante;
- H rappresenta la profondità di scavo
- h_t rappresenta la profondità di installazione del tirante rispetto al piano campagna.

9.4 VERIFICHE GEOTECNICHE A SFILAMENTO DEI TIRANTI

Per la verifica a sfilamento della fondazione dei tiranti, in considerazione della tecnologia realizzativa e delle caratteristiche geotecniche del mezzo al contorno, la resistenza caratteristica a sfilamento all'interfaccia bulbo di ancoraggio – terreno è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix '85 e Viggiani '99. Nello specifico per la resistenza a sfilamento dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno, τ_{ak} , viene assunto per i tiranti ricadenti nel litotipo SUB un valore caratteristico pari a 250kPa. La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{(\pi \cdot D_p \cdot \alpha \cdot \tau_{ak} \cdot L_a)}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

Dove:

- $N_{R,ad}$: la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- D_p : diametro di perforazione della fondazione del tirante;
- α : coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell' ancoraggio e del cotesto geotecnico, nel caso in esame assunto pari a 1.1 in funzione del tipo di iniezione (IRS);
- τ_{ak} : tensione resistente a sfilamento caratteristica dell' interfaccia bulbo di fondazione-terreno;
- L_a : lunghezza della fondazione del tirante;
- $\gamma_{Ra,p}$: coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi (R3); a favore di sicurezza si considera il valore del coefficiente parziale relativo agli ancoraggi permanenti;
- ξ : è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica τ_{ak} .
- La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:
- $N_{R,ad} \geq N_{S,d}$
- Dove $N_{S,d}$ rappresenta il valore dell' azione sollecitante sui tiranti.

Nelle tabelle seguente sono riassunte le verifiche a sfilamento per lo SLU e SLV:

VERIFICA SFILAMENTO BULBO SLU-STR													
Ordine Tiranti [-]	Diametro Perforazione [mm]	Lunghezza Libera Tirante [m]	Lunghezza Bulbo [m]	Interasse [m]	α [-]	τ_{ak} [kPa]	$\gamma_{Ra,p}$ [-]	ξ [-]	$N_{R,ad}$ [kN]	t_{max} [kN/m]	$N_{S,d}$ [kN]	FS [-]	VERIFICA
1	140	14	10	2.85	1.1	250	1.2	1.80	559.9598	137.23	391.1055	0.698	Ns,d < NR,ad VERIFICA SODDISFATTA
2	140	12	10	2.85	1.1	250	1.2	1.80	559.9598	137.17	390.9345	0.698	Ns,d < NR,ad VERIFICA SODDISFATTA

Tabella 9 – Verifica resistenza a sfilamento degli ancoraggi SLU

VERIFICA SFILAMENTO BULBO SLV-STR													
Ordine Titanti [-]	Diametro Perforazione [mm]	Lunghezza Libera Tirante [m]	Lunghezza Bulbo [m]	Interasse [m]	α [-]	τ_{ak} [kPa]	$\gamma_{Ra,p}$ [-]	ξ [-]	$N_{R,ad}$ [kN]	t_{max} [kN/m]	$N_{s,d}$ [kN]	FS [-]	VERIFICA
1	140	14	10	2.85	1.1	250	1.2	1.80	559.9598	107.98	307.743	0.550	Ns,d < NR,ad VERIFICA SODDISFATTA
2	140	12	10	2.85	1.1	250	1.2	1.80	559.9598	107.55	306.5175	0.547	Ns,d < NR,ad VERIFICA SODDISFATTA

Tabella 10-Verifica resistenza a sfilamento dei ancoraggi SLV

9.5 VERIFICHE A SFILAMENTO MALTA-ACCIAIO

La resistenza a sfilamento malta-acciaio, può essere calcolata con l'espressione seguente:

$$R_{sd} = \pi \cdot d \cdot L_s \cdot \gamma \cdot \delta \cdot \tau_{CLS}$$

Dove:

- d rappresenta la somma dei diametri dei fili, trefoli, barre contenuti in unica guaina o perforazione;
- γ rappresenta un coefficiente correttivo dipendente dallo stato delle superfici e dall'eventuale presenza di dispositivi di ancoraggio profondi;
- δ rappresenta un coefficiente correttivo dipendente dal numero di tiranti elementari contenuti in ciascuna guaina o perforazione;
- L_s rappresenta la lunghezza di ancoraggio;
- τ_{CLS} rappresenta la resistenza tangenziale della malta.

Il valore di γ può essere ricavato mediante la tabella seguente.

TIPOLOGIA	γ
filo liscio, trefoli compatti, puliti allo stato naturale	1,3
trefolo normale o barre corrugate pulite allo stato naturale	2
fili lisci, barre lisce, trefoli compatti, unti o verniciati	0,75 - 0,85
fili lisci con ringrossi o "compression grip" alla estremità profonda, barre lisce con dado e rondella alla estremità profonda	1,7
trefoli normali con "compression grip" alla estremità profonda	2,5

Tabella 11-Valori del coefficiente correttivo γ

Il valore di δ dipendente da n (numero dei trefoli) può essere valutato mediante la tabella seguente.

n	1	2	3	4
δ	1	0,8	0,6	0,5

Tabella 12-Valori del coefficiente correttivo δ

Nel caso in esame, avendo trefoli normali γ assume valore pari a 2.

PROGETTAZIONE ATI:

Di seguito si riportano i risultati della verifica a sfilamento malta-acciaio.

VERIFICA A SFILAMENTO MALTA-ACCIAIO												
Ordine Tiranti [-]	Tipo Malta [-]	τ_{cls} [N/mm ²]	Tipo Trefolo [-]	Numero Trefoli [-]	d [mm]	L _s [m]	γ [-]	δ [-]	R _{sd} [kN]	N _{s,d} [kN]	FS [-]	VERIFICA
1	C20/25	1.665025	0.6"	4	60.96	10	2	0.5	3188.713	391.11	0.12	N _{s,d} < R _{sd} Verifica Soddisfatta
2	C20/25	1.665025	0.6"	4	60.96	10	2	0.5	3188.713	390.93	0.12	N _{s,d} < R _{sd} Verifica Soddisfatta

Tabella 13-Verifica a sfilamento malta-acciaio SLU

VERIFICA A SFILAMENTO MALTA-ACCIAIO												
Ordine Tiranti [-]	Tipo Malta [-]	τ_{cls} [N/mm ²]	Tipo Trefolo [-]	Numero Trefoli [-]	d [mm]	L _s [m]	γ [-]	δ [-]	R _{sd} [kN]	N _{s,d} [kN]	FS [-]	VERIFICA
1	C20/25	1.665025	0.6"	4	60.96	10	2	0.5	3188.713	307.74	0.10	N _{s,d} < R _{sd} Verifica Soddisfatta
2	C20/25	1.665025	0.6"	4	60.96	10	2	0.5	3188.713	306.52	0.10	N _{s,d} < R _{sd} Verifica Soddisfatta

Tabella 14-Verifica a sfilamento malta-acciaio SLV

9.6 VERIFICHE STRUTTURALI A ROTTURA DEI TIRANTI

La resistenza a trazione dei tiranti viene valutata secondo la seguente relazione:

$$N_{R,pd} = \frac{f_{p(1)k} \cdot A_{tr} \cdot n_{tr}}{\gamma_s}$$

Dove:

- $N_{R,pd}$: la resistenza a rottura per trazione;
- $f_{p(1)k}$: la resistenza elastica dell'acciaio armonico alla deformazione dell'1%;
- A_{tr} : area del singolo trefolo;
- n_{tr} : numero di trefoli per singolo tirante;
- γ_s : coefficiente parziale dell'acciaio;

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,pd} \geq N_{s,d}$$

Dove $N_{s,d}$ rappresenta il valore dell'azione sollecitante sul tirante.

Nelle tabelle seguenti è riportata la verifica a rottura per trazione del tirante per SLU ed SLV:

VERIFICA A ROTTURA PER TRAZIONE SLU-STR												
Ordine Tiranti [-]	Tipo Trefolo [-]	Area Trefolo [mm ²]	Numero Trefoli [-]	Area Totale Trefoli [mm ²]	$f_{p(1)k}$ [MPa]	γ_s [-]	$N_{R,pk}$ [kN]	$N_{R,pd}$ [kN]	N _{s,d} [kN]	FS [-]	VERIFICA	
1	0.6"	139.00	4.00	556.00	1670.00	1.15	928.52	807.41	391.11	0.48	NR,pd>Ns,d Verifica Superata	
2	0.6"	139.00	4.00	556.00	1670.00	1.15	928.52	807.41	390.93	0.48	NR,pd>Ns,d Verifica Superata	

PROGETTAZIONE ATI:

Tabella 15 – Verifiche resistenza a trazione dei tiranti SLU

VERIFICA A ROTTURA PER TRAZIONE SLV-STR											
Ordine Tiranti [-]	Tipo Trefolo [-]	Area Trefolo [mm ²]	Numero Trefoli [-]	Area Totale Trefoli [mm ²]	$f_{p(1\%),k}$ [MPa]	γ_s [-]	$N_{R,pk}$ [kN]	$N_{R,pd}$ [kN]	$N_{s,d}$ [kN]	FS [-]	VERIFICA
1	0.6"	139.00	4.00	556.00	1670.00	1.15	928.52	807.41	307.74	0.38	NR,pd>Ns,d Verifica Superata
2	0.6"	139.00	4.00	556.00	1670.00	1.15	928.52	807.41	306.52	0.38	NR,pd>Ns,d Verifica Superata

Tabella 16-Verifiche Resistenza a trazione dei tiranti SLV

9.7 VERIFICHE DI GERARCHIA DELLE RESISTENZE

Per quanto riguarda i tiranti a trefoli, con riferimento al criterio della gerarchia delle resistenze e quid evitare rotture di tipo fragile, la circolare 21 gennaio 2019, al paragrafo C6.6.2 impone che, quando l'armatura è realizzata mediante trefoli di acciaio armonico, la resistenza a snervamento dell'armatura sia sempre maggiore della resistenza a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. In tutti i casi la verifica risulta sempre soddisfatta perché dai risultati si evince che $N_{R,pd} > N_{R,ad}$.

VERIFICA GERARCHIA DELLE RESISTENZE			
Ordine Tiranti [-]	$N_{R,pd}$ [kN]	$N_{R,ad}$ [kN]	VERIFICA
1	807.41	559.9598	$N_{R,pd} > N_{R,ad}$ Verifica Superata
2	807.41	559.9598	$N_{R,pd} > N_{R,ad}$ Verifica Superata

Tabella 17 – Verifica di gerarchia delle resistenze

9.8 VERIFICHE STRUTTURALI SULLA TRAVE DI RIPARTIZIONE DEI TIRANTI

Per la ripartizione sulla paratia dello sforzo assiale agente nei tiranti d'ancoraggio sono state utilizzate coppie di profilati metallici del tipo HEB180 (acciaio S275).

La verifica di tali elementi strutturali è stata eseguita secondo lo schema di trave continua su infiniti appoggi, soggetta ad un carico uniforme pari al valore dell'azione del singolo tirante distribuito sulla sua zona di competenza, uguale all'interasse orizzontale tra i tiranti stessi.

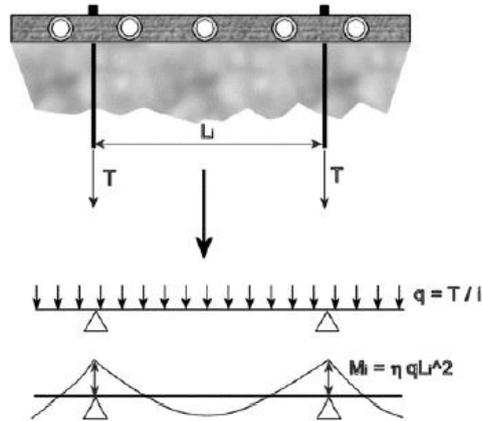


Figura 20 - Trave di ripartizione: schema statico

Le sollecitazioni sulla trave si determinano considerando lo schema di trave su infiniti appoggi:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{10} \quad V = 0.6 \cdot q \cdot L$$

essendo:

- L = luce della campata, ovvero interasse tra i tiranti
- tmax = reazione del tirante a metro lineare

Di seguito vengono riportate le tabelle con le verifiche delle travi di ripartizioni per SLU ed SLV.

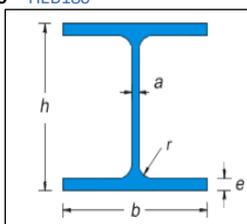
VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE SLU-STR							
Materiale	S275	-					
f_{yk}	275	N/mm ²	f_{yd}	261.90	N/mm ²		
f_{tk}	430	N/mm ²					
γ_{M0}	1.05	-					
γ_{M1}	1.05	-					
Profilo	HEB180						
		Proprietà Sezione					
		a	8.5	mm	J_x	3831	cm ⁴
		b	180	mm	J_y	1363	cm ⁴
		e	14	mm	$W_{el,x}$	425.7	cm ³
		r	15	mm	$W_{el,y}$	151.4	cm ³
		h	180	mm	$W_{pl,x}$	686.9504	cm ³
		Area	65.25	cm ²	$W_{pl,y}$	231.0135	cm ³
Peso	51.2	kg/m					
VERIFICHE SEZIONI:							
TAGLIO							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	V_{ed} [kN]	A_v [cm ²]	$V_{C,Rd}$ [kN]	FS [-]		
1	SLU-STR	117.33	20.24	306.05	0.38	$V_c, R_d > V_{ed}$ Verifica Superata	
2	SLU-STR	117.28	20.24	306.05	0.38	$V_c, R_d > V_{ed}$ Verifica Superata	
NB: con $V_{ed} \leq 0.5V_{C,Rd}$ la sollecitazione di taglio non viene considerata nella verifica a Flessione							
MOMENTO FLETTEnte							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	M_{ed} [kNm]	$W_{el,x}$ [cm ³]	$M_{C,Rd}$ [kNm]	FS [-]		
1	SLU-STR	55.73	425.70	111.49	0.50	$M_c, R_d > M_{ed}$ Verifica Superata	
2	SLU-STR	55.71	425.70	111.49	0.50	$M_c, R_d > M_{ed}$ Verifica Superata	

Tabella 18-Verifica Trave di Ripartizione SLU

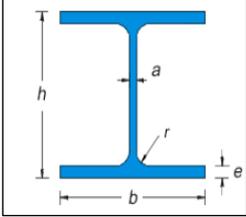
VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE SLV-STR								
Materiale	S275	-						
f_{yk}	275	N/mm ²	f_{yd}	261.90	N/mm ²			
f_{tk}	430	N/mm ²						
V_{M0}	1.05	-						
V_{M1}	1.05	-						
Profilo	HEB180		Proprietà Sezione					
			a	8.5	mm	J_x	3831	cm ⁴
			b	180	mm	J_y	1363	cm ⁴
			e	14	mm	$W_{el,x}$	425.7	cm ³
			r	15	mm	$W_{el,y}$	151.4	cm ³
			h	180	mm	$W_{pl,x}$	686.9504	cm ³
			Area	65.25	cm ²	$W_{pl,y}$	231.0135	cm ³
			Peso	51.2	kg/m			
			VERIFICHE SEZIONI:					
TAGLIO								
ORDINE TIRANTI	Combinazione	V_{ed} [kN]	A_v [cm ²]	$V_{C,Rd}$ [kN]	FS [-]			
1	SLV-STR	92.32	20.24	306.05	0.30	$V_c, Rd > V_{ed}$	Verifica Superata	
2	SLV-STR	91.96	20.24	306.05	0.30	$V_c, Rd > V_{ed}$	Verifica Superata	
NB: con $V_{ed} \leq 0.5V_{C,Rd}$ la sollecitazione di taglio non viene considerata nella verifica a Flessione								
MOMENTO FLETTENTE								
ORDINE TIRANTI	Combinazione	M_{ed} [kNm]	$W_{el,x}$ [cm ³]	$M_{C,Rd}$ [kNm]	FS [-]			
1	SLV-STR	43.85	425.70	111.49	0.39	$M_c, Rd > M_{ed}$	Verifica Superata	
2	SLV-STR	43.68	425.70	111.49	0.39	$M_c, Rd > M_{ed}$	Verifica Superata	

Tabella 19-Verifica Trave di Ripartizione SLV

9.9 VERIFICA DELLA PROFONDITÀ DI INFISSIONE

La profondità d'infissione della paratia nel terreno è stata definita in modo da assicurare un idoneo incastro nei confronti delle spinte orizzontali.

Nel calcolo dell'opera effettuato agli Stati Limite Ultimi, l'avvenuta convergenza del calcolo all'ultimo step di calcolo già garantisce di per sé la stabilità dell'opera nei riguardi della deformazione rotazionale della paratia:

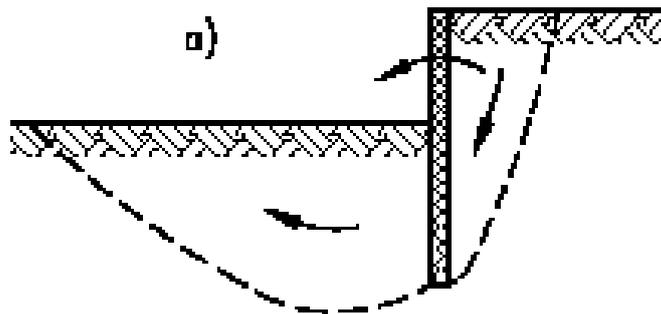


Figura 21 - Meccanismo di collasso

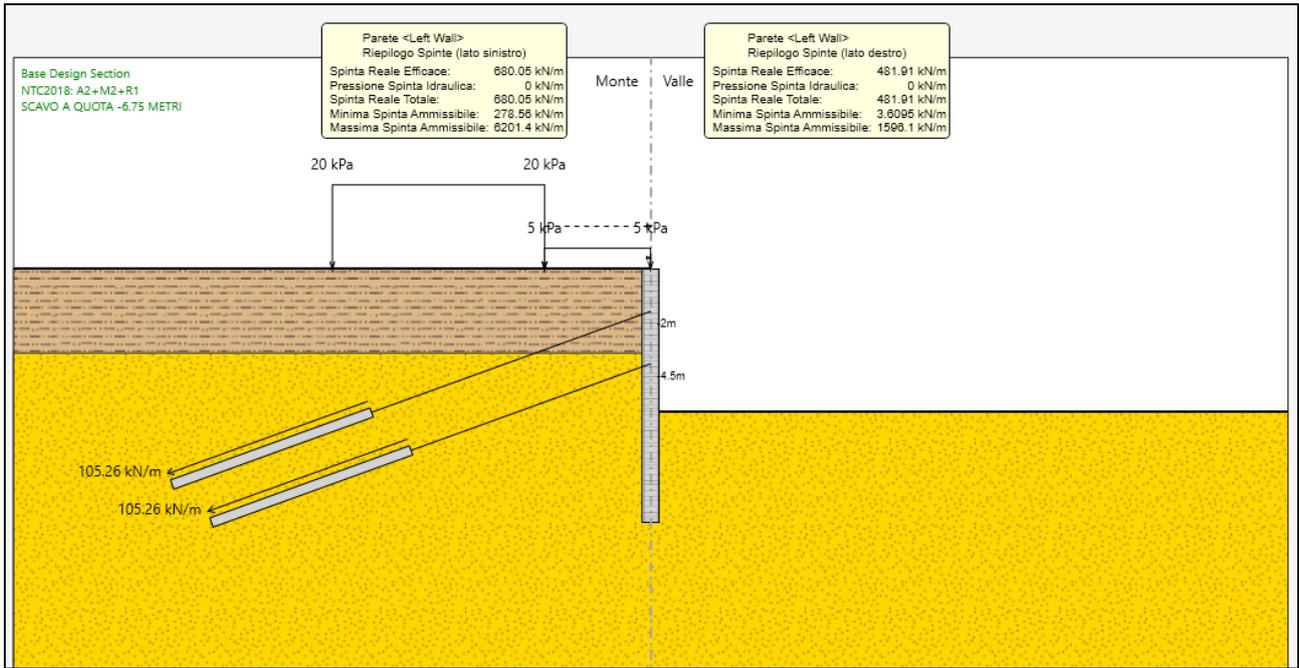


Figura 22 - Mobilitazione spinte- SLU GEO

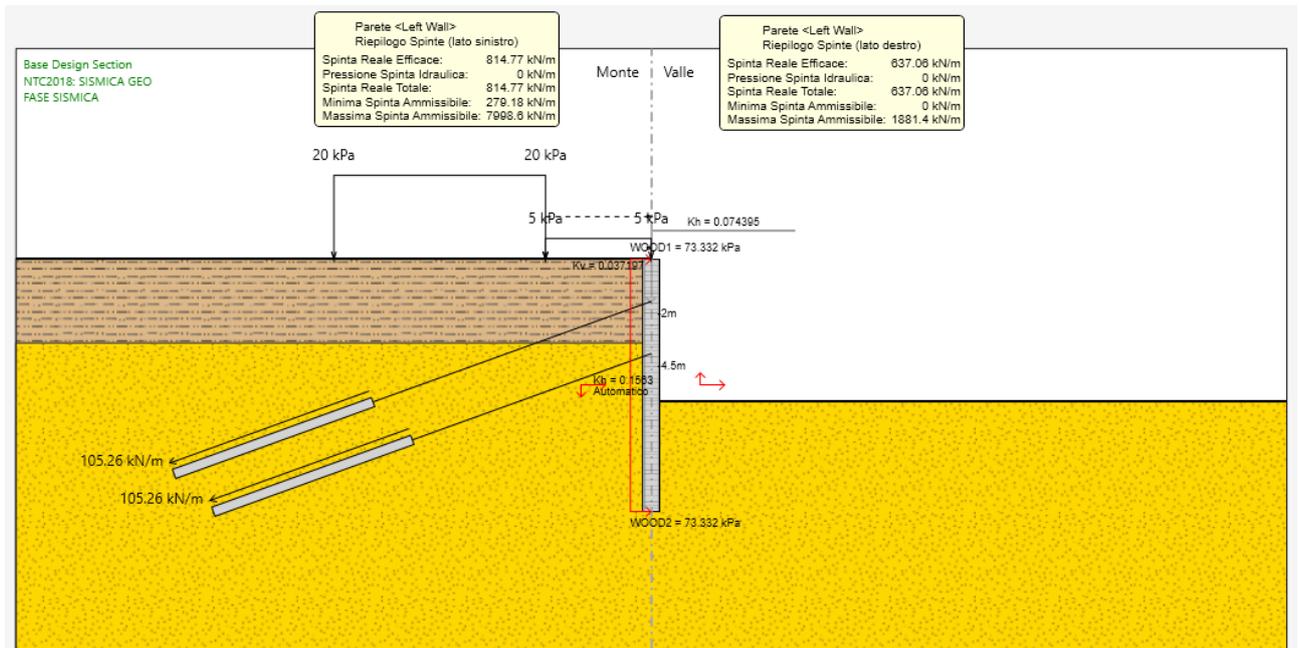


Figura 23 - Mobilitazione spinte- SLV GEO

Condizione	FASE	S_{eff}	S_{pass}	S_{eff}/S_{pass}
SLU GEO	7	481.91	1596.1	0.30
SLV GEO	8	637.06	1881.4	0.34

Tabella 20 – Risultati delle analisi di verifica della profondità di infissione

PROGETTAZIONE ATI:

9.10 VERIFICA DI STABILITÀ

Al fine di verificare l'adeguatezza dell'intervento progettato, sono state eseguite le opportune verifiche di stabilità:

- Globale: in relazione alle condizioni generali del versante, si è individuando il meccanismo di collasso che coinvolge il sistema terreno - opera di sostegno provvisoria.

La verifica è stata svolta utilizzando il metodo di Bishop semplificato e considerando una griglia di centri fitta per avere maggiore precisione e determinata nelle proprietà di analisi della stabilità.

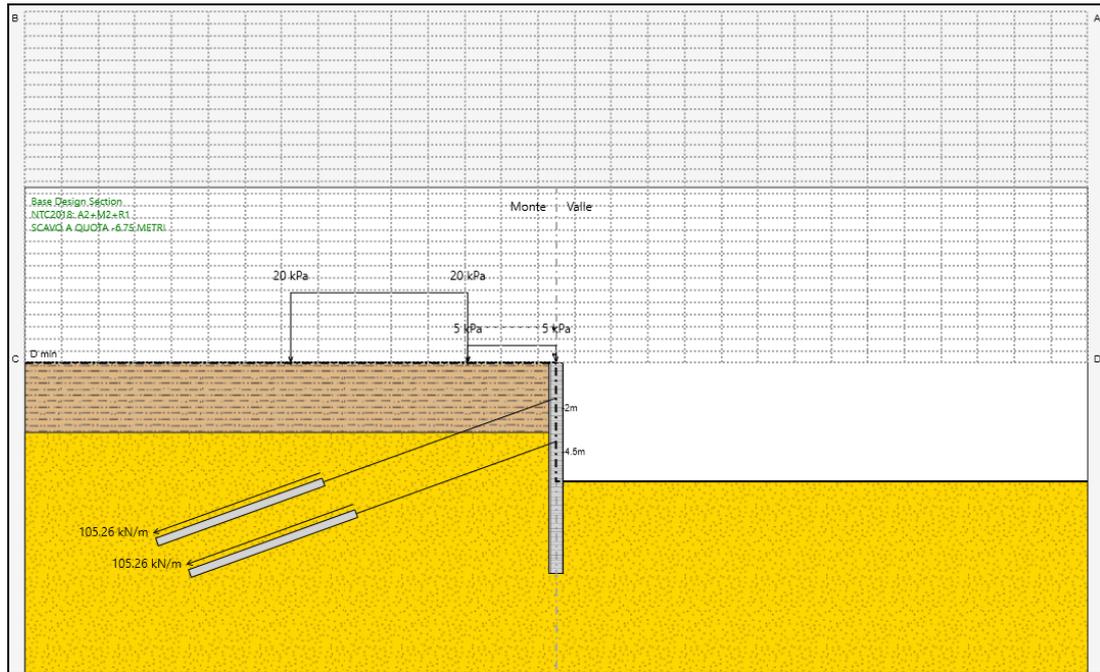


Figura 24-Griglia dei centri per la determinazione delle superfici di scorrimento

Il metodo di Bishop semplificato è il più diffuso ed utilizzato fra i metodi delle strisce; appartiene alla famiglia dei metodi all'equilibrio limite e si basa sull'individuazione di una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento.

Questo metodo è caratterizzato dall'ipotesi semplificativa per la quale per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione verticale delle forze agenti sulle facce laterali è nulla.

Il coefficiente di sicurezza che si ottiene corrisponde alla superficie di scorrimento potenziale critica e viene determinato per tentativi.

Inoltre nel caso di stabilità in presenza di sisma, come indicato al paragrafo 7.11.4, per fronti di scavo e rilevati si assume un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito pari a 0.38 per SLV.

9.10.1 GLOBALE

Nella verifica di stabilità globale, le condizioni indagate sono relative alla situazione di scavo provvisorio per il raggiungimento del fondo scavo sia in fase statica che in fase sismica. Di seguito si presentano i risultati delle analisi, mentre i modelli di calcolo sono i medesimi utilizzati per i calcoli strutturali e geotecnici della paratia:

Condizioni Statiche

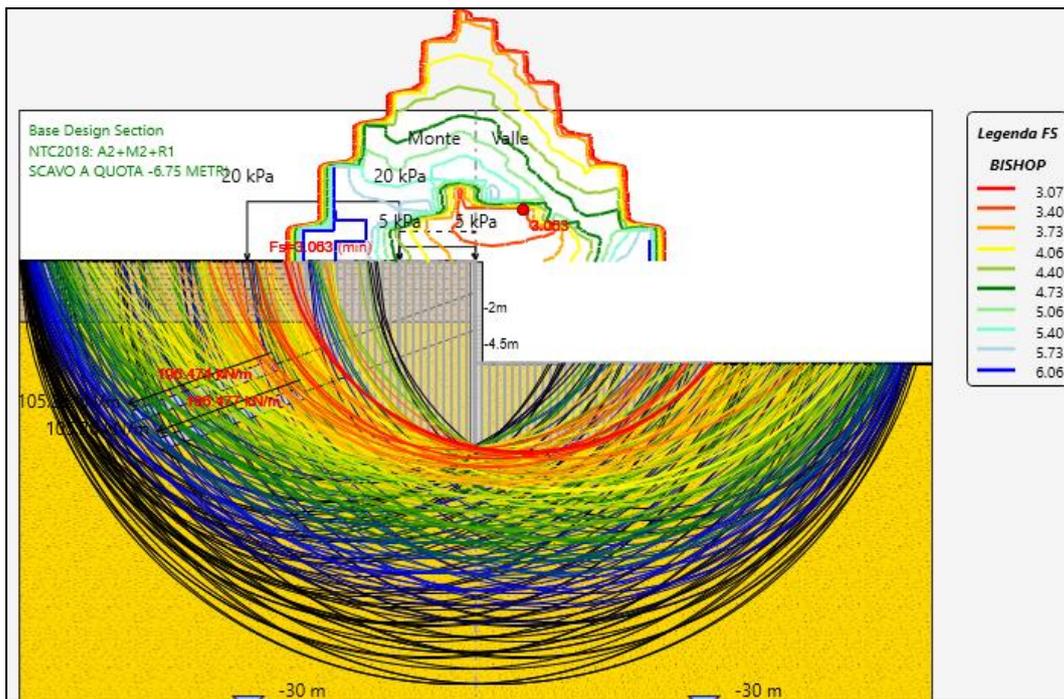


Figura 25-Superfici di scorrimento indagate SLU GEO

PROGETTAZIONE ATI:

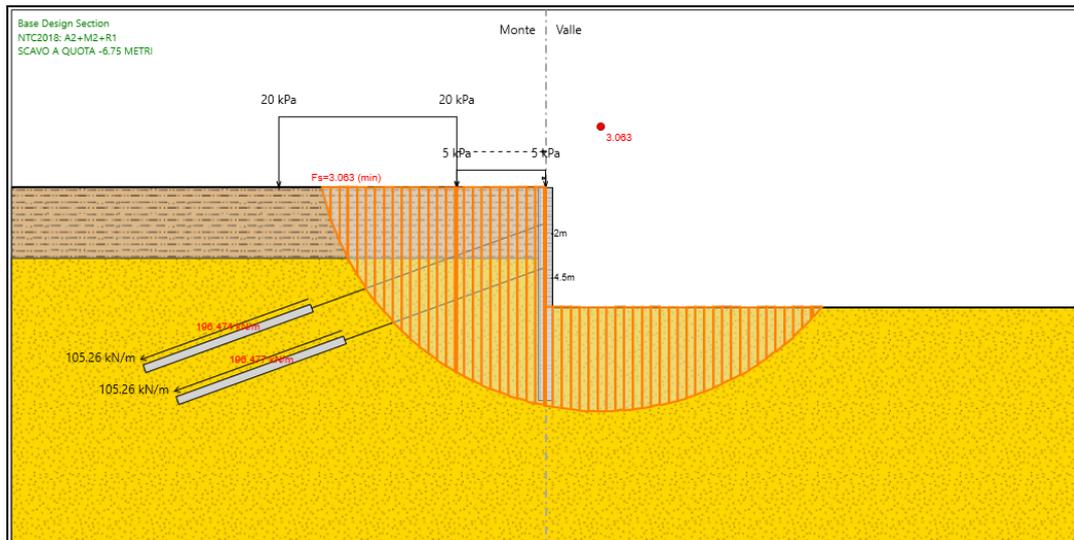


Figura 26 - Analisi di stabilità globale statica SLU GEO

Condizioni Sismiche

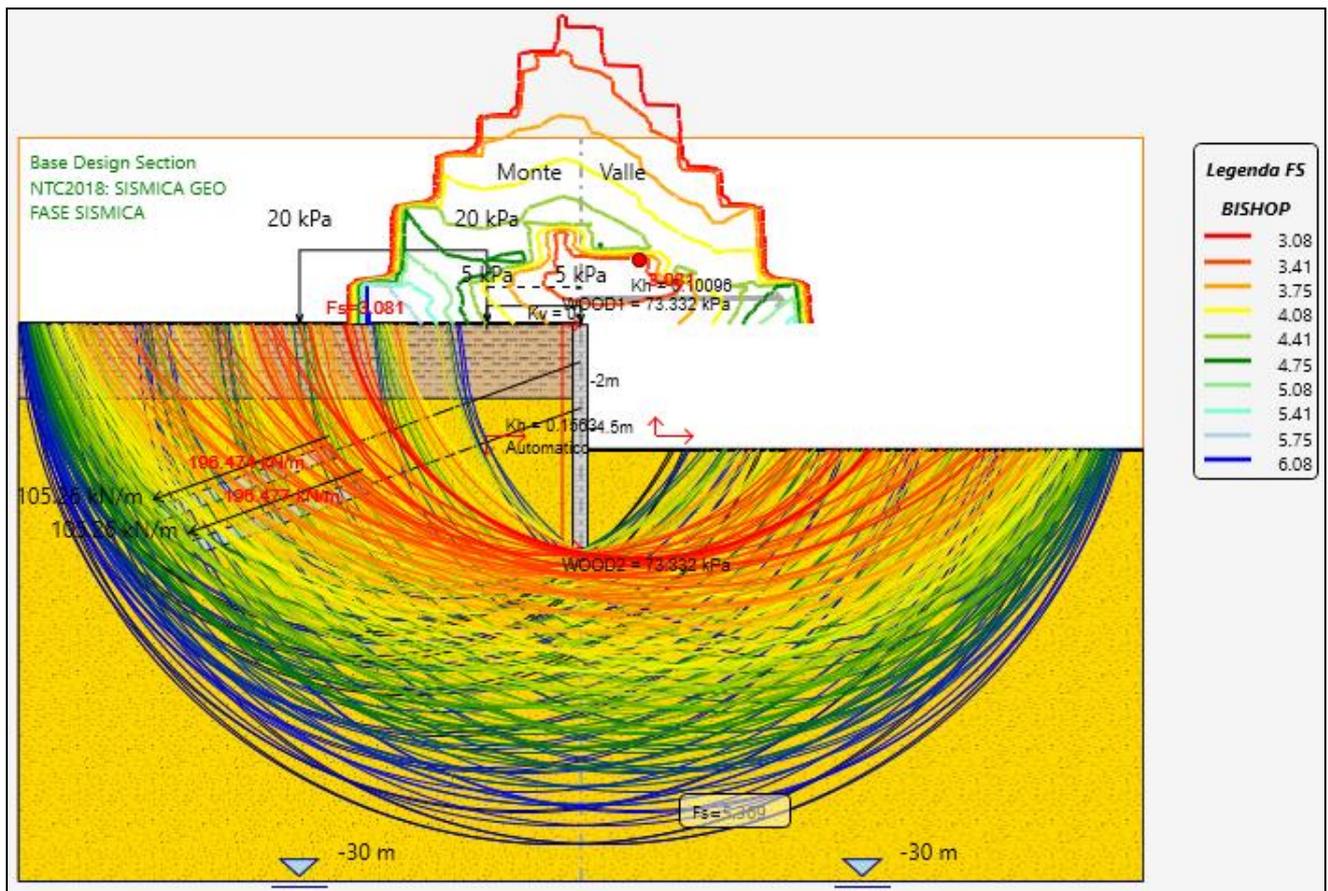


Figura 27-Superfici di scorrimento indagate SLV-GEO

PROGETTAZIONE ATI:

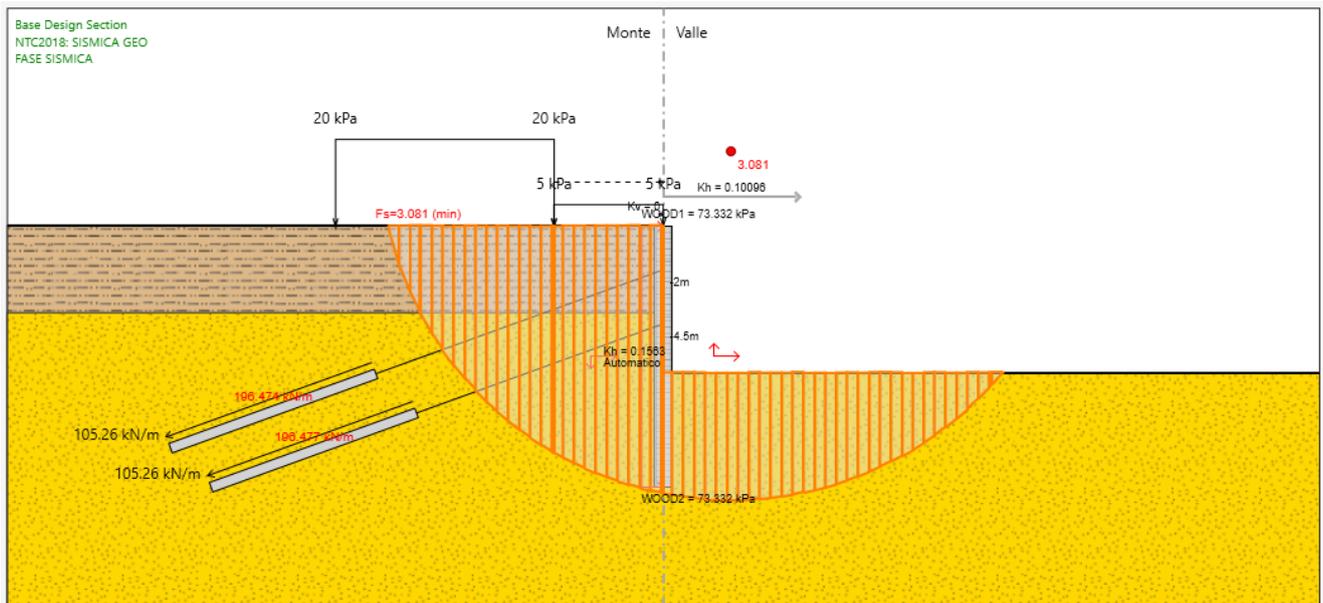


Figura 28 - Analisi di stabilità globale sismica SLV GEO

In tabella si riepilogano di seguito i risultati delle analisi effettuate:

Condizione	FASE	FS	FS minimo
SLU GEO	7	3.063	1,1
SLV GEO	8	3.081	1,1

Tabella 21 Risultati delle analisi di stabilità globale

Il fattore di sicurezza minimo è sempre maggiore di 1,1 pertanto le verifiche di stabilità globale risultano soddisfatte.

10 TABULATO DI CALCOLO – ALLEGATO REPORT SOFTWARE PARATIE PLUS

10.1 DESCRIZIONE DEL SOFTWARE

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.

ParatiePlus non permette lo studio di problematiche che coinvolgano un movimento esteso del versante di scavo, in quanto ParatiePlus non consente lo sviluppo di movimenti rigidi della parete o parti di ammasso rispetto ad altre parti di terreno.

Scopo precipuo di ParatiePlus è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

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 è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

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;
- 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.

10.2 DESCRIZIONE DELLA STRATIGRAFIA E DEGLI STRATI DI TERRENO

Tipo : HORIZONTAL

Quota : 0 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -4 m

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	γ dry	γ sat	ϕ'	ϕ	c	S_u	Modulo	Elastico	E_u	E_{vc}	E_{ur}	A_h	A_{vexp}	P_a	R_{ur}/R_{vc}	R_{vc}	K_u	K_{vc}	K_{ur}
		kN/m ³	kN/m ³	°	°	kPa	kPa				kPa	kPa			kPa		kPa	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ³
1	SUB ALTERATO	21	21	27		15		Constant			150000	240000								
2	SUB	24	24	28		40		Constant			300000	480000								

PROGETTAZIONE ATI:

10.3 DESCRIZIONE PARETI

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Muro di sinistra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 12 m

Materiale : B450C

Quota iniziale : 0 m

Barre 1

Numero di barre : 12

Diametro : 0.02 m

Distanza dal bordo : 0.072 m

Staffe 1

Numero di staffe : 2

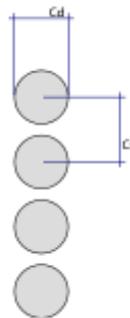
Copertura : 0.05 m

Diametro : 0.01 m

Lunghezza : 12 m

Quota iniziale : 0 m

Passo : 0.15 m



Sezione : Default Section

Area equivalente : 0.529110341657228 m

Inerzia equivalente : 0.0212 m⁴/m

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 0.95 m

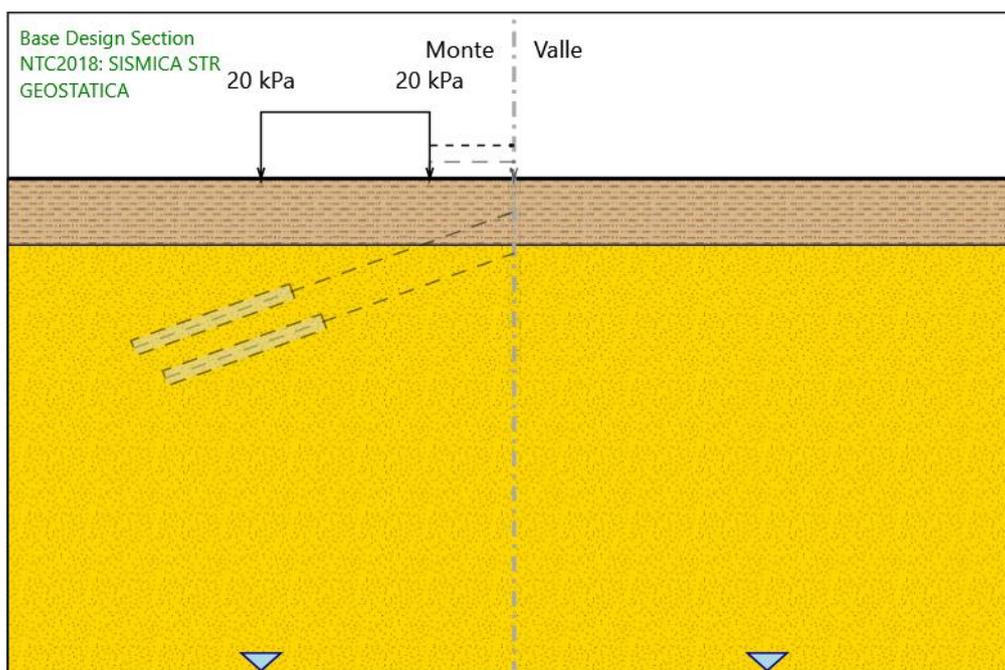
Diametro : 0.8 m

Efficacia : 1

PROGETTAZIONE ATI:

10.4 FASI DI CALCOLO

10.4.1 GEOSTATICA



GEOSTATICA

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

PROGETTAZIONE ATI:

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

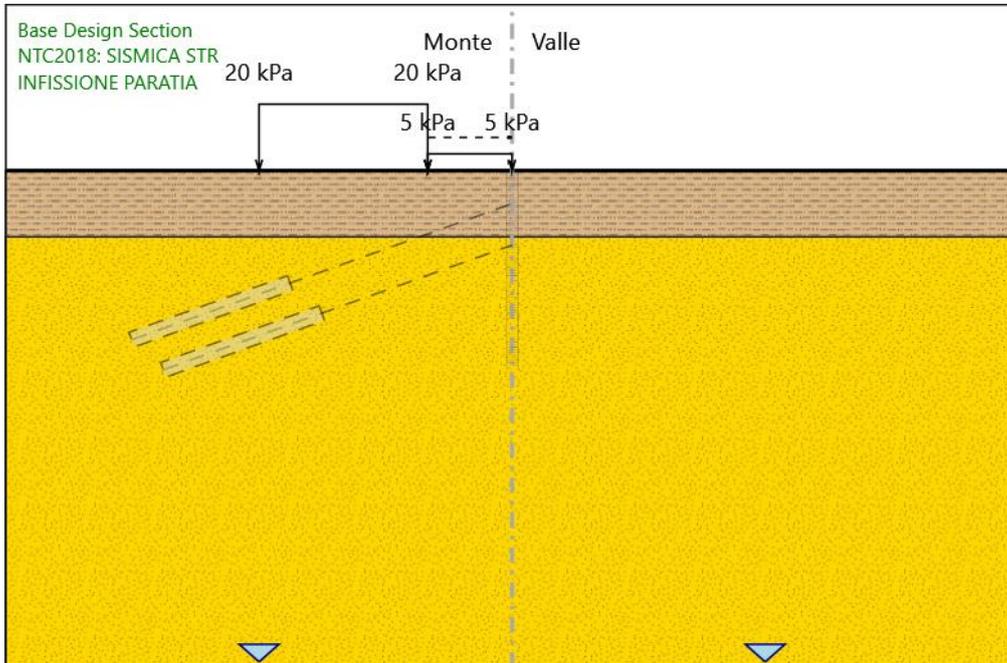
X finale : -5 m

Pressione iniziale : 20 kPa

Pressione finale : 20 kPa

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.2 INFISSIONE PARATIA



INFISSIONE PARATIA

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

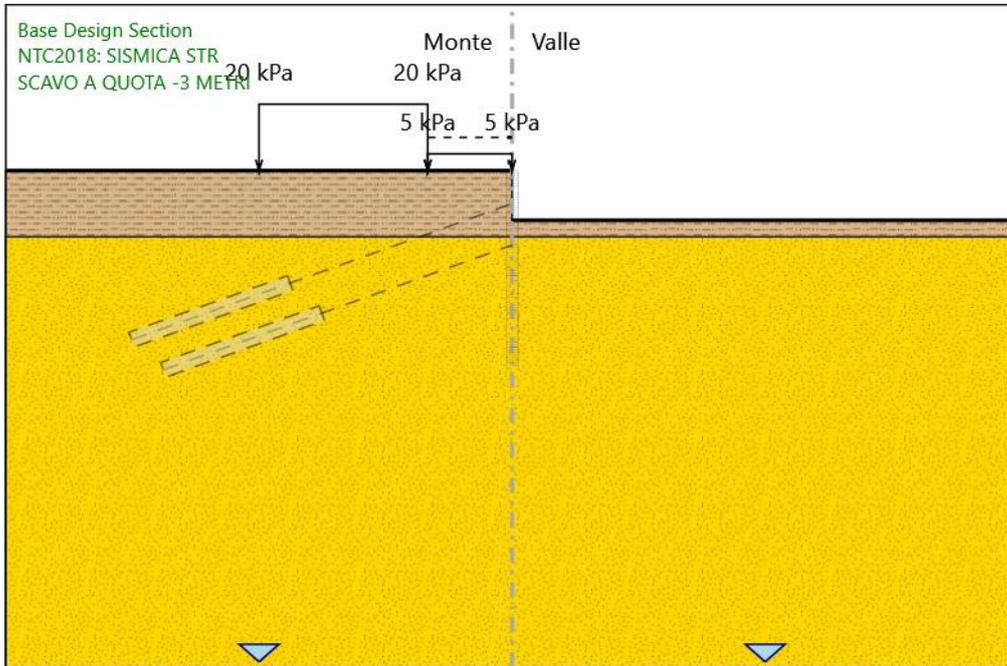
Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.3 SCAVO A QUOTA -3 METRI



SCAVO A QUOTA -3 METRI

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

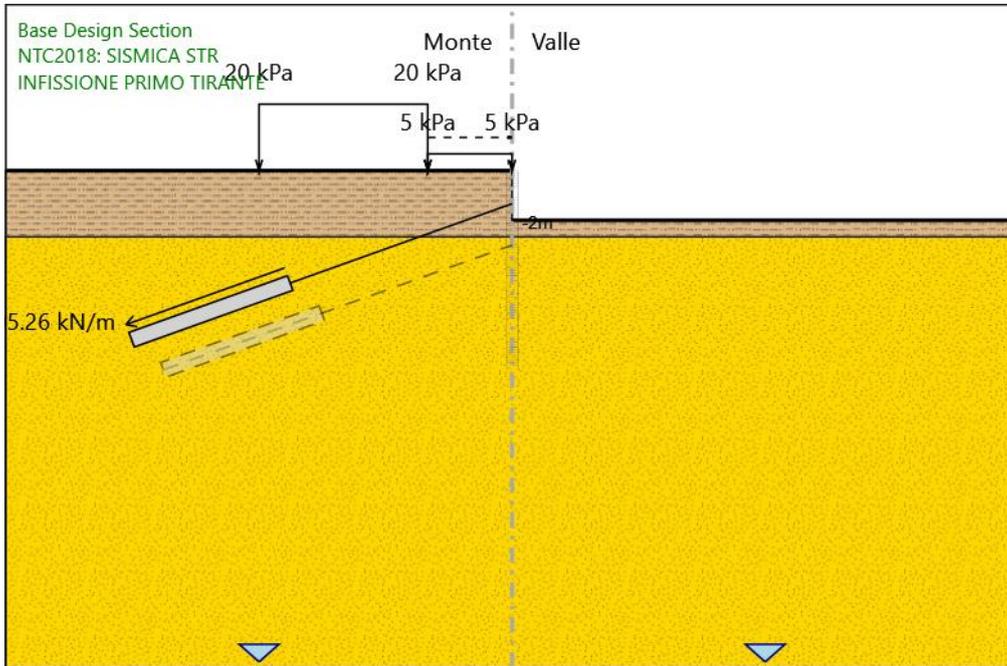
Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.4 INFISSIONE PRIMO TIRANTE



INFISSIONE PRIMO TIRANTE

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -3 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-3 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

Tirante : TIRANTE 1

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 14 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

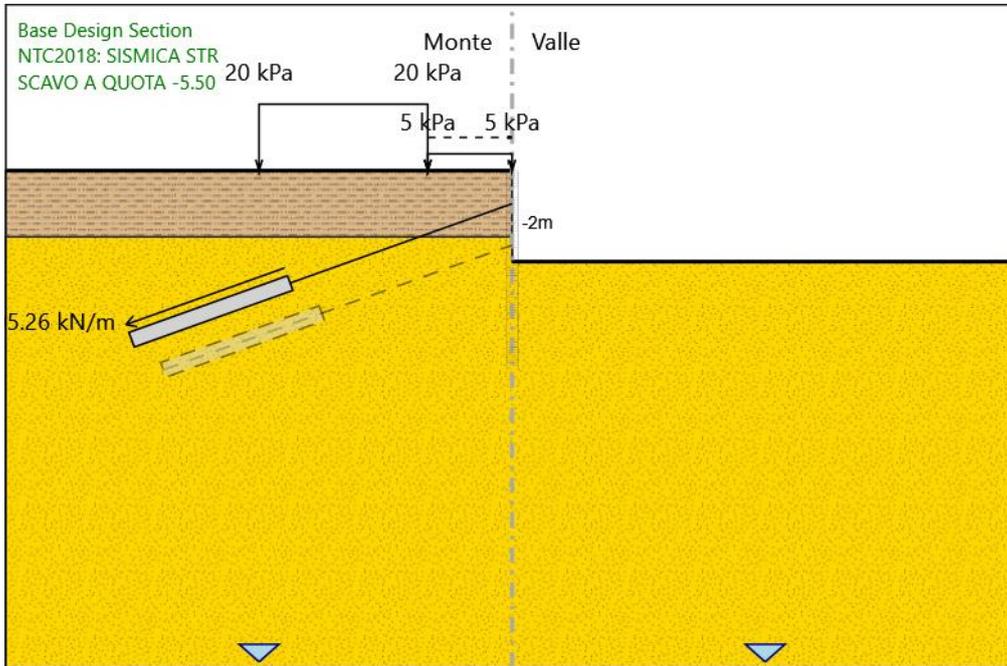
Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

10.4.5 SCAVO A QUOTA -5.50



SCAVO A QUOTA -5.50

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -5.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-5.5 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

Tirante : TIRANTE 1

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 14 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

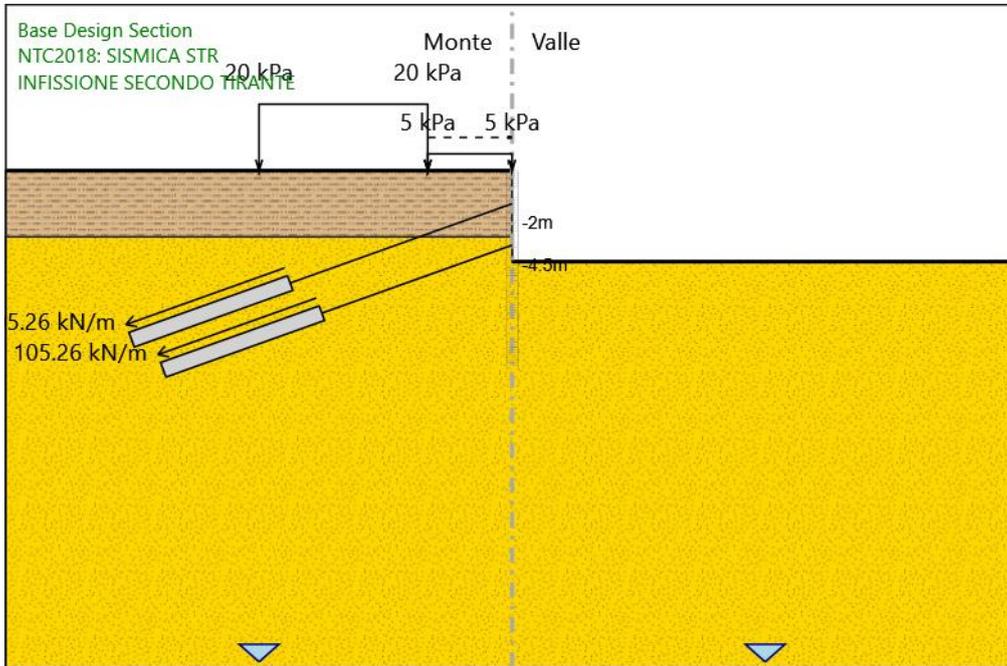
Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.6 INFISSIONE SECONDO TIRANTE



INFISSIONE SECONDO TIRANTE

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -5.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-5.5 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

Tirante : TIRANTE 1

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 14 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

Tirante : TIRANTE 2

X : 0 m

Z : -4.5 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 12 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

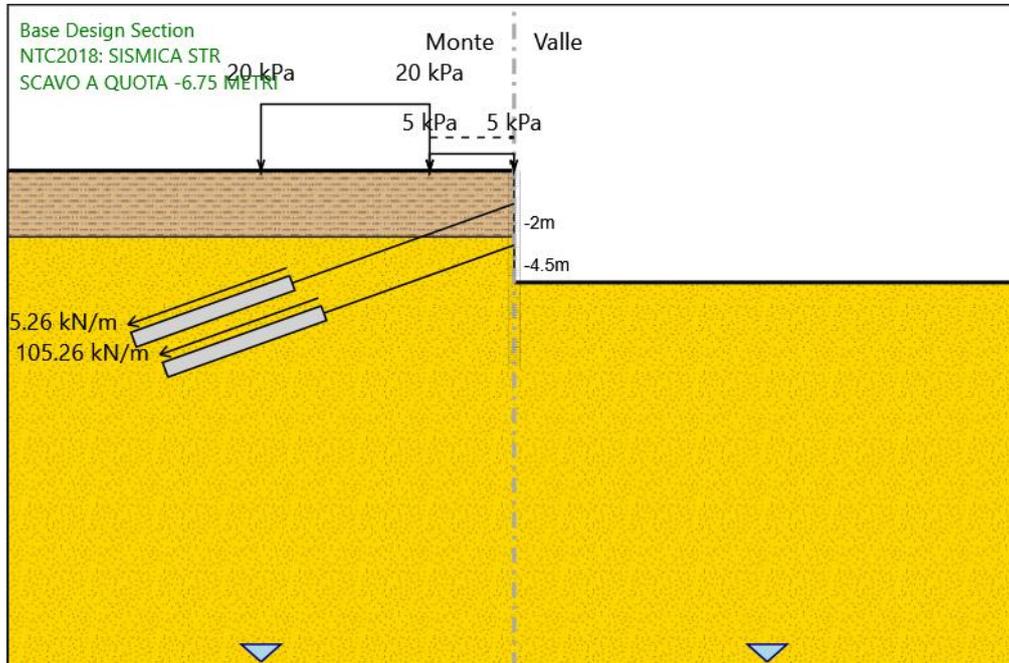
Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.7 SCAVO A QUOTA -6.75 METRI



SCAVO A QUOTA -6.75 METRI

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -6.75 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-6.75 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

Tirante : TIRANTE 1

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 14 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

Tirante : TIRANTE 2

X : 0 m

Z : -4.5 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 12 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

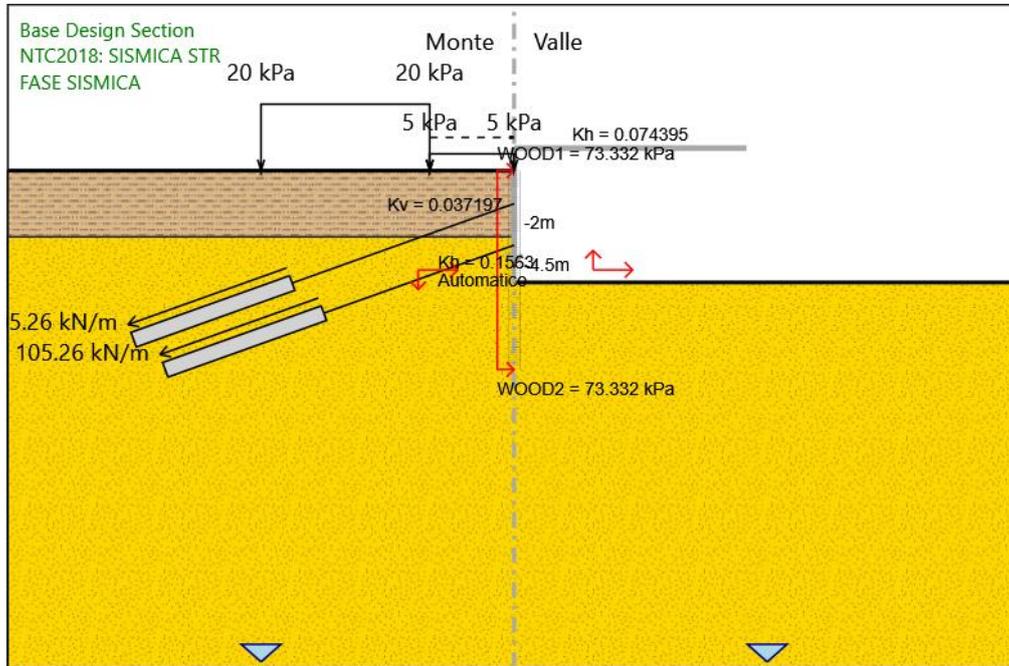
Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

PROGETTAZIONE ATI:

10.4.8 FASE SISMICA



FASE SISMICA

Scavo

Muro di sinistra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -6.75 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

-6.75 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -30 m

Falda di destra : -30 m

Carichi

Carico lineare in superficie : CARICO STRADALE

X iniziale : -15 m

PROGETTAZIONE ATI:

X finale : -5 m
Pressione iniziale : 20 kPa
Pressione finale : 20 kPa
Carico lineare in superficie : CARICO CANTIERE
X iniziale : -5 m
X finale : 0 m
Pressione iniziale : 5 kPa
Pressione finale : 5 kPa

Elementi strutturali

Paratia : WallElement

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -12 m

Sezione : Default Section

Tirante : TIRANTE 1

X : 0 m

Z : -2 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 14 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

Tirante : TIRANTE 2

X : 0 m

Z : -4.5 m

Lunghezza bulbo : 10 m

Diametro bulbo : 0.14 m

Lunghezza libera : 12 m

Spaziatura orizzontale : 2.85 m

Precarico : 300 kN

Angolo : 20 °

Sezione : 3 TREFOLI

Tipo di barre : Barre trefoli

Numero di barre : 3

Diametro : 0.01331 m

Area : 0.000417 m²

PROGETTAZIONE ATI:

10.5 DESCRIZIONE COEFFICIENTI DESIGN ASSUMPTION

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

Nome	Parziale su	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su	Parziale su peso specifico
	tan(ϕ) (F_Fr)			qu (F_qu)	(F_gamma)
Simbolo	γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_γ
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	1	1

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

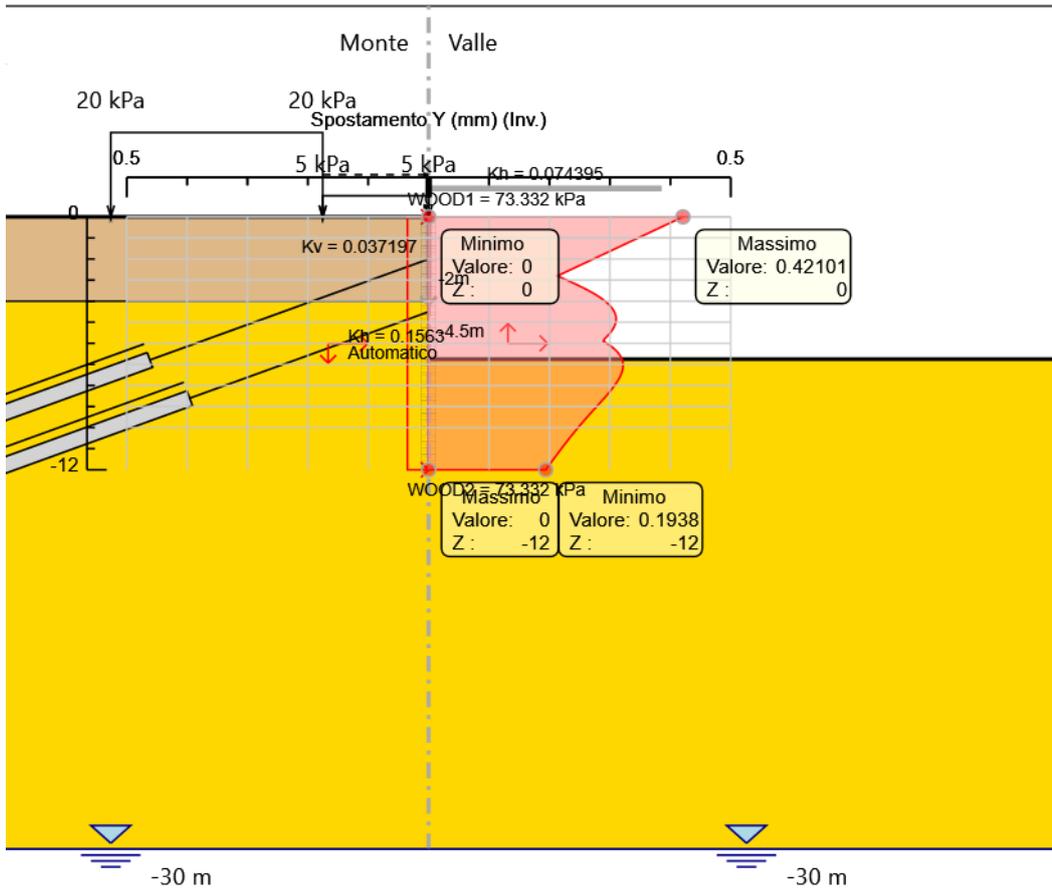
10.5.1 RIEPILOGO STAGE / DESIGN ASSUMPTION PER INVILUPPO

Design Assumption	GEOSTATICA	INFISSIONE	SCAVO A	INFISSIONE	SCAVO A	INFISSIONE	SCAVO A	FASE
		PARATIA	QUOTA -3 METRI	PRIMO TIRANTE	QUOTA - 5.50	SECONDO TIRANTE	QUOTA -6.75 METRI	SISMICA
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V	V	V	V	V

PROGETTAZIONE ATI:

10.6 DESCRIZIONE SINTETICA DEI RISULTATI DELLE DESIGN ASSUMPTION (INVILUPPI)

10.6.1 GRAFICO INVILUPPI SPOSTAMENTO (SLE)



Spostamento

PROGETTAZIONE ATI:

10.6.2 TABELLA INVILUPPI MOMENTO WALL ELEMENT

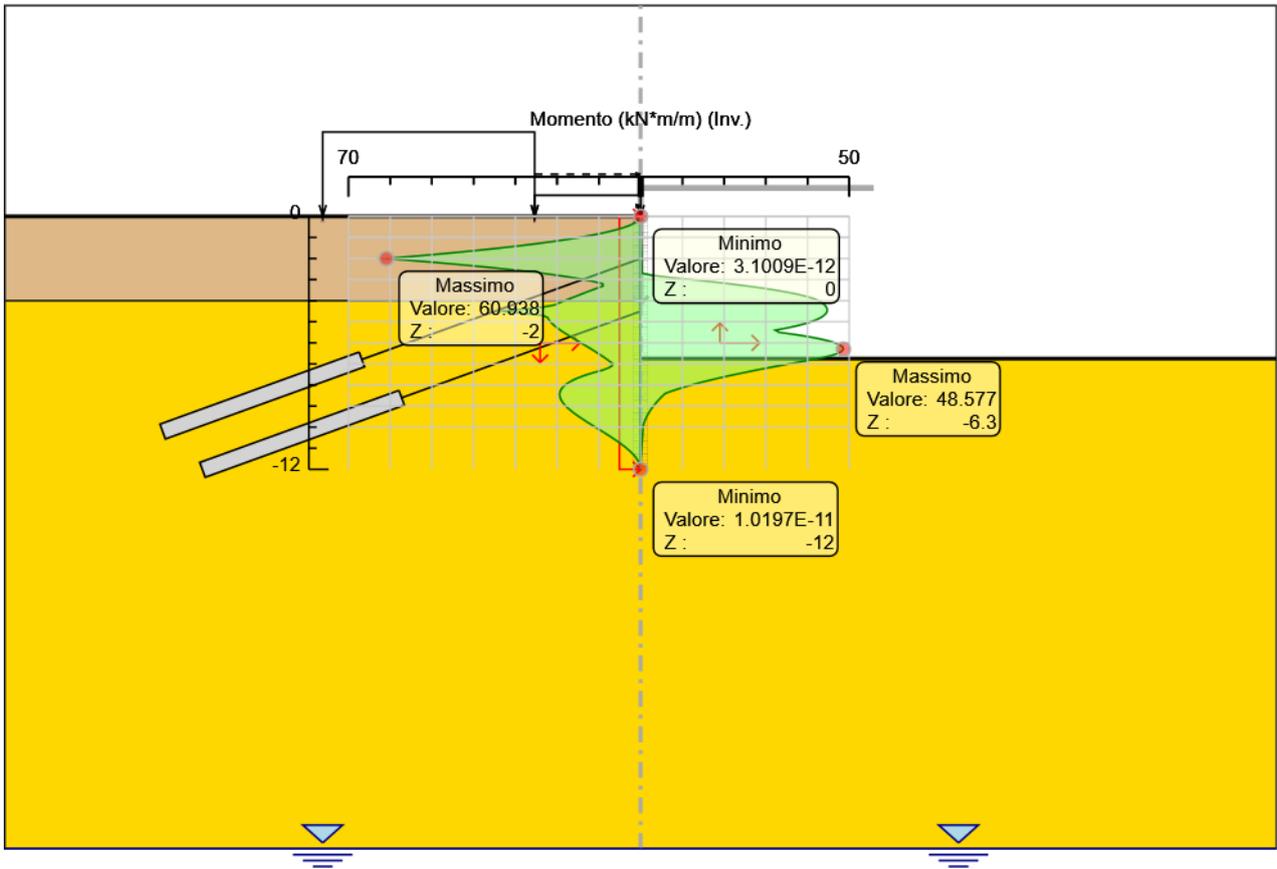
Selected Design Assumptions	Inviluppi: Momento	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.1	0.143	0
-0.2	0.569	0
-0.3	1.284	0
-0.4	2.29	0.006
-0.5	3.592	0.016
-0.6	5.194	0.027
-0.7	7.099	0.04
-0.8	9.311	0.055
-0.9	11.834	0.07
-1	14.672	0.085
-1.1	17.827	0.101
-1.2	21.302	0.117
-1.3	25.101	0.135
-1.4	29.227	0.152
-1.5	33.681	0.17
-1.6	38.466	0.188
-1.7	43.584	0.207
-1.8	49.037	0.224
-1.9	54.824	0.242
-2	60.938	0.259
-2.1	54.51	0.274
-2.2	48.42	0.289
-2.3	42.683	0.303
-2.4	37.314	0.315
-2.5	32.325	0.324
-2.6	27.73	0.332
-2.7	23.541	0.338
-2.8	19.769	2.937
-2.9	16.427	7.221
-3	13.525	12.286
-3.1	11.075	17.014
-3.2	9.087	21.393
-3.3	9.016	25.414
-3.4	10.392	29.068
-3.5	11.732	32.344
-3.6	13.045	35.232
-3.7	14.338	37.721
-3.8	15.622	39.802
-3.9	16.905	41.463
-4	18.199	42.692
-4.1	19.513	43.478
-4.2	20.553	44.081
-4.3	23.385	44.491
-4.4	28.216	44.696
-4.5	33.164	44.682
-4.6	28.196	44.437
-4.7	23.39	43.947
-4.8	22.287	43.196
-4.9	22.01	42.169
-5	21.62	40.85
-5.1	21.132	39.221
-5.2	20.559	37.265
-5.3	19.915	34.963
-5.4	19.212	32.298
-5.5	18.462	33.2
-5.6	17.674	36.845
-5.7	16.858	40.012
-5.8	16.023	42.695
-5.9	15.176	44.888

PROGETTAZIONE ATI:

Selected Design Assumptions Z (m)	Muro: WallElement	
	Inviluppi: Momento Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
-6	14.324	46.581
-6.1	13.474	47.766
-6.2	12.631	48.435
-6.3	11.799	48.577
-6.4	10.984	48.18
-6.5	10.188	47.234
-6.6	9.416	45.727
-6.7	8.669	43.644
-6.8	7.949	40.972
-6.9	7.259	38.24
-7	6.599	35.503
-7.1	6.927	32.793
-7.2	7.846	30.134
-7.3	9.225	27.543
-7.4	11.112	25.034
-7.5	12.774	22.618
-7.6	14.224	20.303
-7.7	15.47	18.095
-7.8	16.523	15.999
-7.9	17.394	14.019
-8	18.095	12.155
-8.1	18.634	10.41
-8.2	19.024	8.783
-8.3	19.274	7.273
-8.4	19.395	5.892
-8.5	19.396	5.351
-8.6	19.287	4.838
-8.7	19.078	4.352
-8.8	18.776	3.894
-8.9	18.392	3.464
-9	17.933	3.062
-9.1	17.407	2.688
-9.2	16.822	2.342
-9.3	16.186	2.022
-9.4	15.505	1.729
-9.5	14.787	1.462
-9.6	14.038	1.22
-9.7	13.264	1.002
-9.8	12.471	0.808
-9.9	11.665	0.635
-10	10.851	0.558
-10.1	10.035	0.541
-10.2	9.222	0.518
-10.3	8.416	0.491
-10.4	7.622	0.46
-10.5	6.845	0.426
-10.6	6.09	0.389
-10.7	5.36	0.352
-10.8	4.659	0.313
-10.9	3.993	0.274
-11	3.364	0.236
-11.1	2.777	0.198
-11.2	2.235	0.162
-11.3	1.743	0.129
-11.4	1.304	0.098
-11.5	0.922	0.07
-11.6	0.601	0.046
-11.7	0.344	0.027
-11.8	0.156	0.012
-11.9	0.04	0.003
-12	0	0

PROGETTAZIONE ATI:

10.6.3 GRAFICO INVILUPPI MOMENTO



Momento

PROGETTAZIONE ATI:

10.6.4 TABELLA INVILUPPI TAGLIO WALLELEMENT

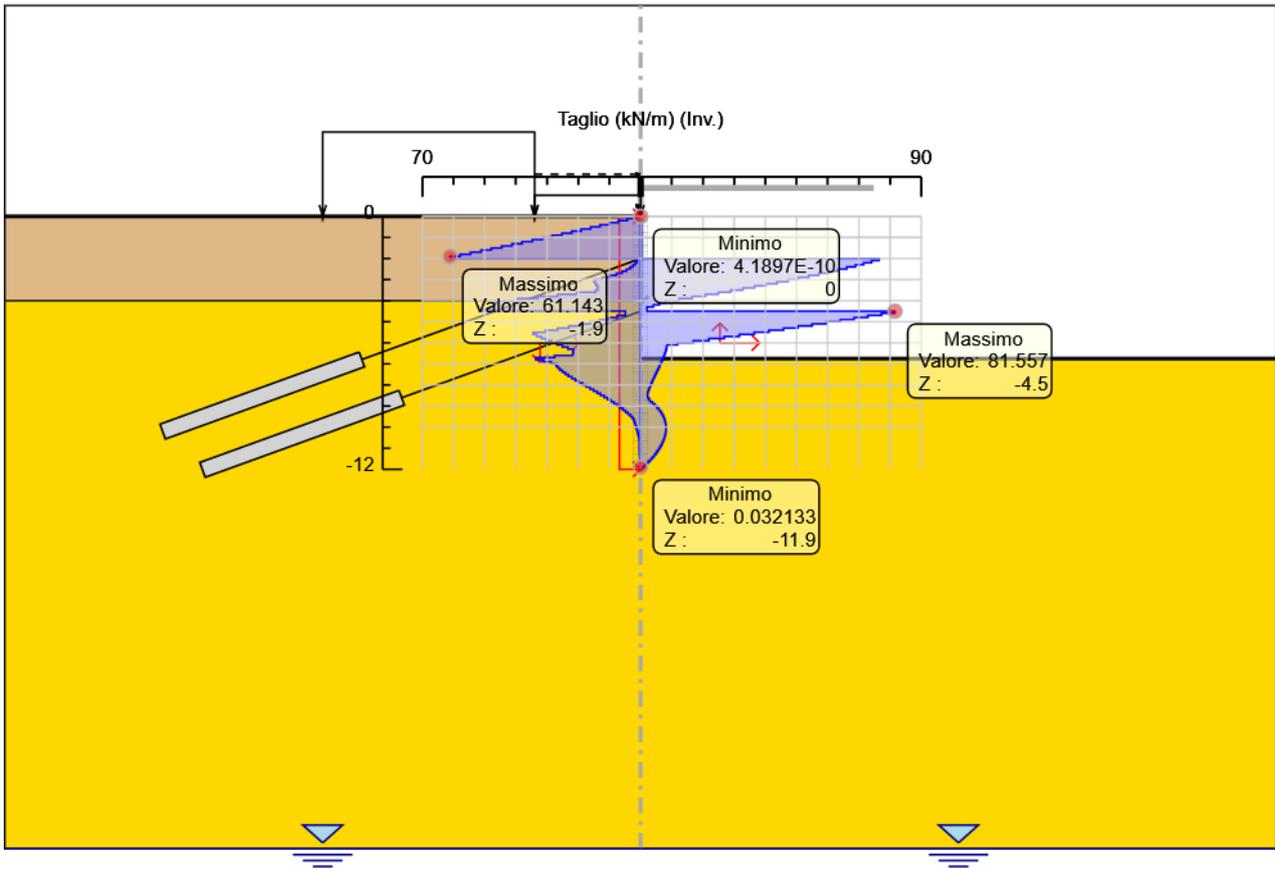
Selected Design Assumptions	Inviluppi: Taglio	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	1.43	0
-0.1	4.264	0.004
-0.2	7.143	0.042
-0.3	10.063	0.071
-0.4	13.021	0.094
-0.5	16.018	0.115
-0.6	19.051	0.132
-0.7	22.121	0.147
-0.8	25.232	0.148
-0.9	28.376	0.149
-1	31.549	0.158
-1.1	34.755	0.166
-1.2	37.99	0.173
-1.3	41.253	0.177
-1.4	44.541	0.18
-1.5	47.852	0.182
-1.6	51.187	0.182
-1.7	54.536	0.181
-1.8	57.884	0.179
-1.9	61.143	0.174
-2	61.143	76.481
-2.1	1.193	76.481
-2.2	1.723	74.064
-2.3	2.458	71.521
-2.4	3.398	68.86
-2.5	4.542	66.086
-2.6	5.913	63.204
-2.7	7.796	60.217
-2.8	9.936	57.129
-2.9	12.332	53.941
-3	14.983	50.655
-3.1	14.983	47.272
-3.2	14.598	43.792
-3.3	14.166	40.214
-3.4	13.757	36.537
-3.5	14.477	32.76
-3.6	20.479	28.881
-3.7	26.651	24.897
-3.8	32.99	20.806
-3.9	39.498	16.605
-4	46.174	12.291
-4.1	46.656	7.861
-4.2	47.369	6.035
-4.3	48.311	4.099
-4.4	51.37	2.045
-4.5	51.37	81.557
-4.6	4.904	81.557
-4.7	7.509	77.234
-4.8	10.269	72.869
-4.9	13.194	68.463
-5	16.291	64.016
-5.1	19.561	59.529
-5.2	23.014	55.003
-5.3	26.654	50.435
-5.4	30.488	45.823
-5.5	34.521	41.163
-5.6	34.521	36.448
-5.7	33.328	31.674
-5.8	31.874	26.835
-5.9	30.273	21.924

PROGETTAZIONE ATI:

Selected Design Assumptions	Inviluppi: Taglio	Muro: Wall	Element
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)	
-6	28.587	16.934	
-6.1	26.853	11.858	
-6.2	25.099	8.432	
-6.3	23.346	8.314	
-6.4	21.609	8.153	
-6.5	21.773	7.955	
-6.6	27.601	7.727	
-6.7	33.659	7.472	
-6.8	33.659	7.195	
-6.9	31.197	6.901	
-7	28.646	6.594	
-7.1	27.098	6.277	
-7.2	26.592	5.952	
-7.3	25.909	5.624	
-7.4	25.089	5.295	
-7.5	24.161	4.967	
-7.6	23.151	4.642	
-7.7	22.078	4.321	
-7.8	20.958	4.008	
-7.9	19.807	3.701	
-8	18.635	3.404	
-8.1	17.453	3.117	
-8.2	16.271	2.84	
-8.3	15.096	2.574	
-8.4	13.935	2.321	
-8.5	12.794	2.239	
-8.6	11.677	2.616	
-8.7	10.589	3.014	
-8.8	9.534	3.845	
-8.9	8.515	4.591	
-9	7.534	5.258	
-9.1	6.594	5.847	
-9.2	5.697	6.362	
-9.3	4.843	6.806	
-9.4	4.035	7.182	
-9.5	3.272	7.493	
-9.6	2.557	7.741	
-9.7	2.18	7.929	
-9.8	1.947	8.061	
-9.9	1.724	8.137	
-10	1.512	8.161	
-10.1	1.311	8.161	
-10.2	1.121	8.134	
-10.3	0.943	8.058	
-10.4	0.777	7.936	
-10.5	0.623	7.768	
-10.6	0.482	7.555	
-10.7	0.387	7.3	
-10.8	0.389	7.004	
-10.9	0.389	6.666	
-11	0.385	6.289	
-11.1	0.374	5.872	
-11.2	0.358	5.416	
-11.3	0.337	4.922	
-11.4	0.309	4.39	
-11.5	0.276	3.82	
-11.6	0.238	3.212	
-11.7	0.194	2.566	
-11.8	0.145	1.882	
-11.9	0.091	1.16	
-12	0.032	0.399	

PROGETTAZIONE ATI:

10.6.5 GRAFICO INVILUPPI TAGLIO



Taglio

PROGETTAZIONE ATI:

10.6.6 INVILUPPO SPINTA REALE EFFICACE / SPINTA PASSIVA

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva	%
NTC2018: A2+M2+R1	GEOSTATICA	Left Wall	LEFT		14.93
NTC2018: SISMICA STR FASE	SISMICA	Left Wall	RIGHT		33.86

PROGETTAZIONE ATI:

10.7 NORMATIVE ADOTTATE PER LE VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Normative Verifiche

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

Coefficienti per Verifica Tiranti

GEO FS	1
ξ_{a3}	1.8
γ_s	1.15

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.1 RIEPILOGO STAGE / DESIGN ASSUMPTION PER INVILUPPO

Design Assumption	GEOSTATICA	INFISSIONE	SCAVO A	INFISSIONE	SCAVO A	INFISSIONE	SCAVO A	FASE
		PARATIA	QUOTA -3 METRI	PRIMO TIRANTE	QUOTA - 5.50	SECONDO TIRANTE	QUOTA -6.75 METRI	SISMICA
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V	V	V	V	V

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.2 RISULTATI CAVER

10.7.3 TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO CALCESTRUZZO - CAVER : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver
-0.7	0.019
-0.8	0.025
-0.9	0.032
-1	0.04
-1.1	0.049
-1.2	0.058
-1.3	0.068
-1.4	0.08
-1.5	0.092
-1.6	0.105
-1.7	0.119
-1.8	0.134
-1.9	0.149
-2	0.166
-2.1	0.149
-2.2	0.132
-2.3	0.116
-2.4	0.102
-2.5	0.088
-2.6	0.076
-2.7	0.065
-2.8	0.054
-2.9	0.045
-3	0.037
-3.1	0.045
-3.2	0.057
-3.3	0.068
-3.4	0.078
-3.5	0.087
-3.6	0.095
-3.7	0.102
-3.8	0.107
-3.9	0.112
-4	0.115
-4.1	0.118
-4.2	0.119
-4.3	0.12
-4.4	0.121
-4.5	0.121
-4.6	0.121
-4.7	0.119
-4.8	0.117
-4.9	0.115
-5	0.111
-5.1	0.107
-5.2	0.102
-5.3	0.095
-5.4	0.088
-5.5	0.09
-5.6	0.1
-5.7	0.108
-5.8	0.116
-5.9	0.122
-6	0.127
-6.1	0.13
-6.2	0.132
-6.3	0.132

PROGETTAZIONE ATI:

Inviluppi	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	
-6.4		0.131
-6.5		0.129
-6.6		0.125
-6.7		0.119
-6.8		0.112
-6.9		0.105
-7		0.098
-7.1		0.09
-7.2		0.083
-7.3		0.076
-7.4		0.069
-7.5		0.063
-7.6		0.057
-7.7		0.051
-7.8		0.045
-7.9		0.039
-8		0.034
-8.1		0.03
-8.2		0.03
-8.3		0.03
-8.4		0.03
-8.5		0.029
-8.6		0.029
-8.7		0.028
-8.8		0.027
-8.9		0.026
-9		0.026
-9.1		0.025
-9.2		0.024
-9.3		0.022
-9.4		0.021
-9.5		0.02
-9.6		0.019
-9.7		0.018
-9.8		0.017
-9.9		0.016
-10		0.014
-10.1		0.013
-10.2		0.012
-10.3		0.011
-10.4		0.01
-10.5		0.009
-10.6		0.008
-10.7		0.007
-10.8		0.006
-10.9		0.005
-11		0.004
-11.1		0.004
-11.2		0.003
-11.3		0.002

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.5 TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO ARMATURE - CAVER : LEFT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Armature - Caver
-0.7	0.017
-0.8	0.022
-0.9	0.028
-1	0.034
-1.1	0.042
-1.2	0.05
-1.3	0.059
-1.4	0.068
-1.5	0.079
-1.6	0.09
-1.7	0.102
-1.8	0.115
-1.9	0.128
-2	0.142
-2.1	0.127
-2.2	0.113
-2.3	0.1
-2.4	0.087
-2.5	0.076
-2.6	0.065
-2.7	0.055
-2.8	0.047
-2.9	0.039
-3	0.032
-3.1	0.039
-3.2	0.049
-3.3	0.058
-3.4	0.067
-3.5	0.075
-3.6	0.081
-3.7	0.087
-3.8	0.092
-3.9	0.096
-4	0.099
-4.1	0.101
-4.2	0.102
-4.3	0.103
-4.4	0.104
-4.5	0.104
-4.6	0.103
-4.7	0.102
-4.8	0.101
-4.9	0.098
-5	0.095
-5.1	0.092
-5.2	0.087
-5.3	0.082
-5.4	0.076
-5.5	0.077
-5.6	0.086
-5.7	0.093
-5.8	0.099
-5.9	0.104
-6	0.108
-6.1	0.111
-6.2	0.113
-6.3	0.113
-6.4	0.113
-6.5	0.11
-6.6	0.107

PROGETTAZIONE ATI:

Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Armature - Caver
-6.7	0.102
-6.8	0.096
-6.9	0.09
-7	0.084
-7.1	0.077
-7.2	0.071
-7.3	0.065
-7.4	0.059
-7.5	0.054
-7.6	0.048
-7.7	0.043
-7.8	0.038
-7.9	0.034
-8	0.03
-8.1	0.026
-8.2	0.026
-8.3	0.026
-8.4	0.026
-8.5	0.025
-8.6	0.025
-8.7	0.024
-8.8	0.023
-8.9	0.023
-9	0.022
-9.1	0.021
-9.2	0.02
-9.3	0.019
-9.4	0.018
-9.5	0.017
-9.6	0.016
-9.7	0.015
-9.8	0.014
-9.9	0.013
-10	0.012
-10.1	0.011
-10.2	0.01
-10.3	0.009
-10.4	0.008
-10.5	0.008
-10.6	0.007
-10.7	0.006
-10.8	0.005
-10.9	0.004
-11	0.004
-11.1	0.003
-11.2	0.003
-11.3	0.002

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.7 TABELLA INVILUPPI APERTURA FESSURE - CAVER : LEFT

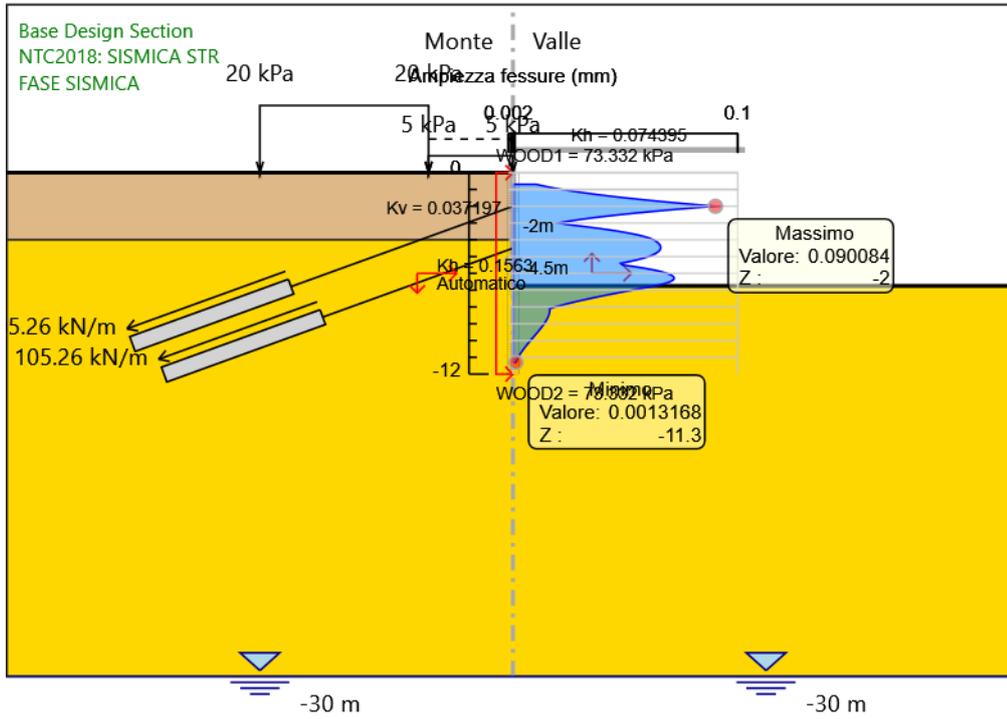
Inviluppi Apertura Fessure - Caver		LEFT
Z (m)	Apertura Fessure - Caver (mm)	
-0.7	0.011	
-0.8	0.014	
-0.9	0.018	
-1	0.022	
-1.1	0.026	
-1.2	0.032	
-1.3	0.037	
-1.4	0.043	
-1.5	0.05	
-1.6	0.057	
-1.7	0.064	
-1.8	0.072	
-1.9	0.081	
-2	0.09	
-2.1	0.081	
-2.2	0.072	
-2.3	0.063	
-2.4	0.055	
-2.5	0.048	
-2.6	0.041	
-2.7	0.035	
-2.8	0.03	
-2.9	0.025	
-3	0.02	
-3.1	0.025	
-3.2	0.031	
-3.3	0.037	
-3.4	0.042	
-3.5	0.047	
-3.6	0.051	
-3.7	0.055	
-3.8	0.058	
-3.9	0.061	
-4	0.063	
-4.1	0.064	
-4.2	0.065	
-4.3	0.065	
-4.4	0.066	
-4.5	0.066	
-4.6	0.065	
-4.7	0.065	
-4.8	0.064	
-4.9	0.062	
-5	0.06	
-5.1	0.058	
-5.2	0.055	
-5.3	0.052	
-5.4	0.048	
-5.5	0.049	
-5.6	0.054	
-5.7	0.059	
-5.8	0.063	
-5.9	0.066	
-6	0.069	
-6.1	0.07	
-6.2	0.071	
-6.3	0.072	
-6.4	0.071	
-6.5	0.07	
-6.6	0.068	

PROGETTAZIONE ATI:

Involuppi Apertura Fessure - Caver		LEFT
Z (m)	Apertura Fessure - Caver (mm)	
-6.7	0.065	
-6.8	0.061	
-6.9	0.057	
-7	0.053	
-7.1	0.049	
-7.2	0.045	
-7.3	0.041	
-7.4	0.038	
-7.5	0.034	
-7.6	0.031	
-7.7	0.027	
-7.8	0.024	
-7.9	0.021	
-8	0.019	
-8.1	0.016	
-8.2	0.016	
-8.3	0.016	
-8.4	0.016	
-8.5	0.016	
-8.6	0.016	
-8.7	0.015	
-8.8	0.015	
-8.9	0.014	
-9	0.014	
-9.1	0.013	
-9.2	0.013	
-9.3	0.012	
-9.4	0.012	
-9.5	0.011	
-9.6	0.01	
-9.7	0.01	
-9.8	0.009	
-9.9	0.008	
-10	0.008	
-10.1	0.007	
-10.2	0.007	
-10.3	0.006	
-10.4	0.005	
-10.5	0.005	
-10.6	0.004	
-10.7	0.004	
-10.8	0.003	
-10.9	0.003	
-11	0.002	
-11.1	0.002	
-11.2	0.002	
-11.3	0.001	

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.8 GRAFICO INVILUPPI APERTURA FESSURE - CAVER



Inviluppi
Apertura Fessure - Caver

10.7.9 TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A MOMENTO - CAVER : LEFT

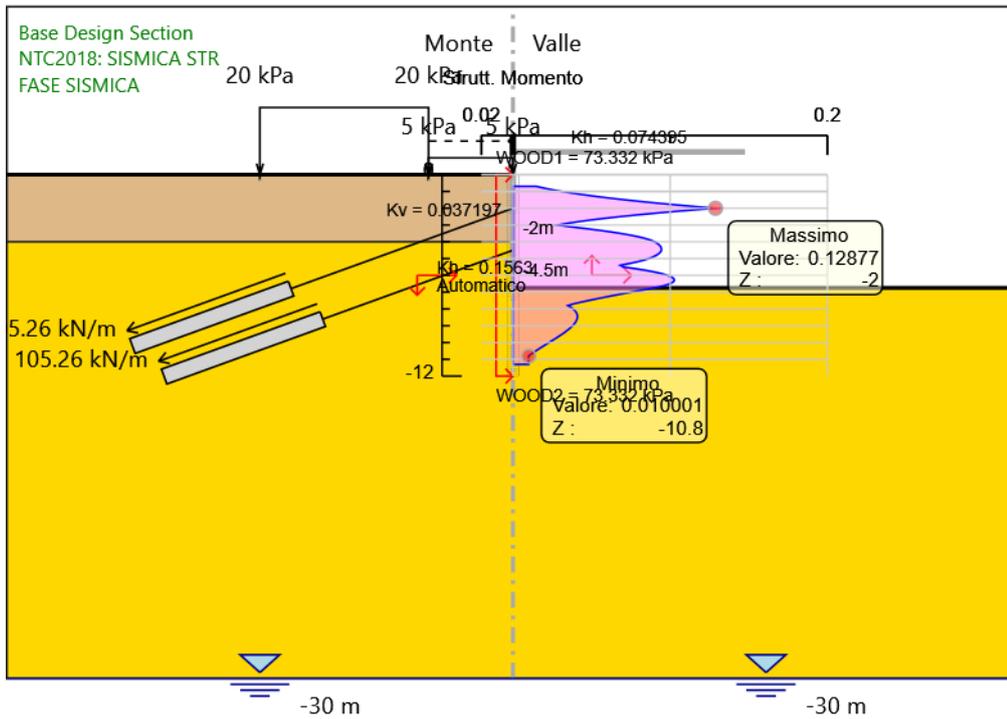
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver
-0.7	0.015
-0.8	0.02
-0.9	0.025
-1	0.031
-1.1	0.038
-1.2	0.045
-1.3	0.053
-1.4	0.062
-1.5	0.071
-1.6	0.081
-1.7	0.092
-1.8	0.104
-1.9	0.116
-2	0.129
-2.1	0.115
-2.2	0.102
-2.3	0.09
-2.4	0.079
-2.5	0.068
-2.6	0.059
-2.7	0.05
-2.8	0.042
-2.9	0.035
-3	0.029
-3.1	0.036
-3.2	0.045
-3.3	0.054
-3.4	0.061
-3.5	0.068
-3.6	0.074
-3.7	0.08
-3.8	0.084
-3.9	0.088
-4	0.09
-4.1	0.092
-4.2	0.093
-4.3	0.094
-4.4	0.094
-4.5	0.094
-4.6	0.094
-4.7	0.093
-4.8	0.091
-4.9	0.089
-5	0.086
-5.1	0.083
-5.2	0.079
-5.3	0.074
-5.4	0.068
-5.5	0.07
-5.6	0.078
-5.7	0.085
-5.8	0.09
-5.9	0.095
-6	0.098
-6.1	0.101
-6.2	0.102
-6.3	0.103
-6.4	0.102
-6.5	0.1
-6.6	0.097

PROGETTAZIONE ATI:

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver
-6.7	0.092
-6.8	0.087
-6.9	0.081
-7	0.075
-7.1	0.069
-7.2	0.064
-7.3	0.058
-7.4	0.053
-7.5	0.048
-7.6	0.043
-7.7	0.038
-7.8	0.035
-7.9	0.037
-8	0.038
-8.1	0.039
-8.2	0.04
-8.3	0.041
-8.4	0.041
-8.5	0.041
-8.6	0.041
-8.7	0.04
-8.8	0.04
-8.9	0.039
-9	0.038
-9.1	0.037
-9.2	0.036
-9.3	0.034
-9.4	0.033
-9.5	0.031
-9.6	0.03
-9.7	0.028
-9.8	0.026
-9.9	0.025
-10	0.023
-10.1	0.021
-10.2	0.019
-10.3	0.018
-10.4	0.016
-10.5	0.014
-10.6	0.013
-10.7	0.011
-10.8	0.01
-10.9	0.01
-11	0.01
-11.1	0.01
-11.2	0.01
-11.3	0.01

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.10 GRAFICO INVILUPPI TASSO DI SFRTTAMENTO A MOMENTO - CAVER



Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.11 TABELLA INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A TAGLIO - CAVER : LEFT

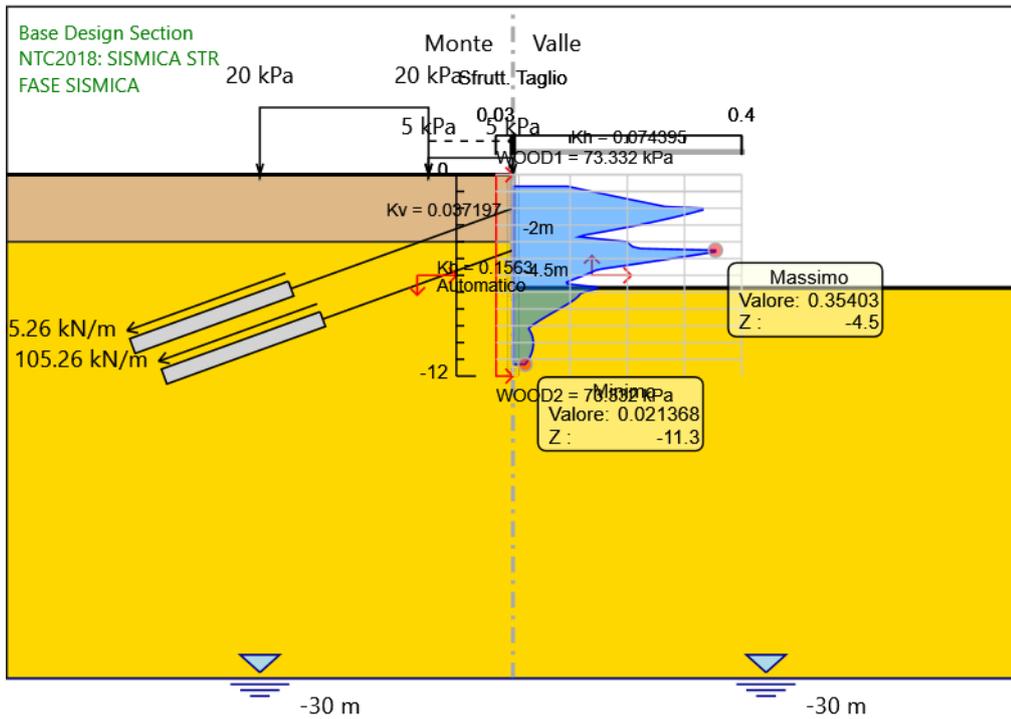
Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver		LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	
-0.7	0.096	
-0.8	0.11	
-0.9	0.123	
-1	0.137	
-1.1	0.151	
-1.2	0.165	
-1.3	0.179	
-1.4	0.193	
-1.5	0.208	
-1.6	0.222	
-1.7	0.237	
-1.8	0.251	
-1.9	0.265	
-2	0.332	
-2.1	0.332	
-2.2	0.322	
-2.3	0.31	
-2.4	0.299	
-2.5	0.287	
-2.6	0.274	
-2.7	0.261	
-2.8	0.248	
-2.9	0.234	
-3	0.22	
-3.1	0.205	
-3.2	0.19	
-3.3	0.175	
-3.4	0.159	
-3.5	0.142	
-3.6	0.125	
-3.7	0.116	
-3.8	0.143	
-3.9	0.171	
-4	0.2	
-4.1	0.203	
-4.2	0.206	
-4.3	0.21	
-4.4	0.223	
-4.5	0.354	
-4.6	0.354	
-4.7	0.335	
-4.8	0.316	
-4.9	0.297	
-5	0.278	
-5.1	0.258	
-5.2	0.239	
-5.3	0.219	
-5.4	0.199	
-5.5	0.179	
-5.6	0.158	
-5.7	0.145	
-5.8	0.138	
-5.9	0.131	
-6	0.124	
-6.1	0.117	
-6.2	0.109	
-6.3	0.101	
-6.4	0.094	
-6.5	0.095	
-6.6	0.12	

PROGETTAZIONE ATI:

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	LEFT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
-6.7	0.146
-6.8	0.146
-6.9	0.135
-7	0.124
-7.1	0.118
-7.2	0.115
-7.3	0.112
-7.4	0.109
-7.5	0.105
-7.6	0.1
-7.7	0.096
-7.8	0.091
-7.9	0.086
-8	0.081
-8.1	0.076
-8.2	0.071
-8.3	0.066
-8.4	0.06
-8.5	0.056
-8.6	0.051
-8.7	0.046
-8.8	0.041
-8.9	0.037
-9	0.033
-9.1	0.029
-9.2	0.028
-9.3	0.03
-9.4	0.031
-9.5	0.033
-9.6	0.034
-9.7	0.034
-9.8	0.035
-9.9	0.035
-10	0.035
-10.1	0.035
-10.2	0.035
-10.3	0.035
-10.4	0.034
-10.5	0.034
-10.6	0.033
-10.7	0.032
-10.8	0.03
-10.9	0.029
-11	0.027
-11.1	0.025
-11.2	0.024
-11.3	0.021

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.12 GRAFICO INVILUPPI TASSO DI SFRUTTAMENTO A TAGLIO - CAVER



Inviluppi
Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver

10.7.13 VERIFICHE TIRANTI NTC2018: A1+M1+R1 (R3 PER TIRANTI)

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)		Tipo Risultato: Verifiche Tiranti			NTC2018 (ITA)			
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
TIRANTE 1	INFISSIONE PRIMO TIRANTE	390.136	559.951	605.557	0.697	0.644		
TIRANTE 1	SCAVO A QUOTA - 5.50	390.863	559.951	605.557	0.698	0.645		
TIRANTE 1	INFISSIONE SECONDO TIRANTE	390.101	559.951	605.557	0.697	0.644		
TIRANTE 1	SCAVO A QUOTA - 6.75 METRI	390.141	559.951	605.557	0.697	0.644		
TIRANTE 1	FASE SISMICA	390.141	559.951	605.557	0.697	0.644		
TIRANTE 2	INFISSIONE SECONDO TIRANTE	390.136	559.96	605.557	0.697	0.644		
TIRANTE 2	SCAVO A QUOTA - 6.75 METRI	390.729	559.96	605.557	0.698	0.645		
TIRANTE 2	FASE SISMICA	390.729	559.96	605.557	0.698	0.645		

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.14 VERIFICHE TIRANTI NTC2018: SISMICA STR

Design Assumption: NTC2018: SISMICA STR		Tipo Risultato: Verifiche Tiranti			NTC2018 (ITA)			
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
TIRANTE 1	INFISSIONE PRIMO TIRANTE	300.105	559.951	605.557	0.536	0.496		
TIRANTE 1	SCAVO A QUOTA - 5.50	300.649	559.951	605.557	0.537	0.496		
TIRANTE 1	INFISSIONE SECONDO TIRANTE	300.061	559.951	605.557	0.536	0.496		
TIRANTE 1	SCAVO A QUOTA - 6.75 METRI	300.09	559.951	605.557	0.536	0.496		
TIRANTE 1	FASE SISMICA	305.852	559.951	605.557	0.546	0.505		
TIRANTE 2	INFISSIONE SECONDO TIRANTE	300.105	559.96	605.557	0.536	0.496		
TIRANTE 2	SCAVO A QUOTA - 6.75 METRI	300.553	559.96	605.557	0.537	0.496		
TIRANTE 2	FASE SISMICA	304.919	559.96	605.557	0.545	0.504		

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.15 INVILUPPO VERIFICHE TIRANTI (SU TUTTE LE D.A. ATTIVE)

Tipo Risultato:									
Verifiche Tiranti									
Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Ratio GEO	Ratio STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze	Design Assumption
TIRANTE 1	SCAVO A QUOTA - 5.50	390.863	559.951	605.557	0.698	0.645			NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)
TIRANTE 2	SCAVO A QUOTA - 6.75 METRI	390.729	559.96	605.557	0.698	0.645			NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

PROGETTAZIONE ATI:

10.7.16 VERIFICHE STRUTTURALI SULLA TRAVE DI RIPARTIZIONE DEI TIRANTI

Per la ripartizione sulla paratia dello sforzo assiale agente nei tiranti d'ancoraggio sono state utilizzate coppie di profilati metallici del tipo HEB180 (acciaio S275).

La verifica di tali elementi strutturali è stata eseguita secondo lo schema di trave continua su infiniti appoggi, soggetta ad un carico uniforme pari al valore dell'azione del singolo tirante distribuito sulla sua zona di competenza, uguale all'interasse orizzontale tra i tiranti stessi.

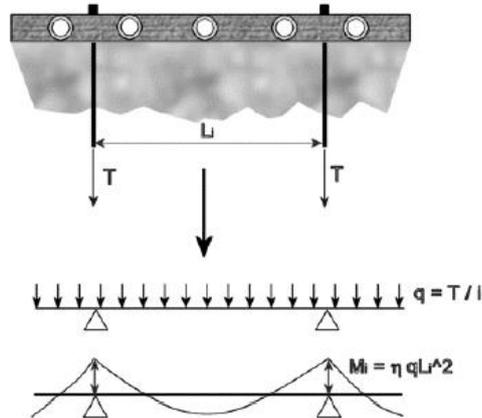


Figura 29 - Trave di ripartizione: schema statico

Le sollecitazioni sulla trave si determinano considerando lo schema di trave su infiniti appoggi:

$$M = \frac{q \cdot L^2}{10} \quad V = 0.6 \cdot q \cdot L$$

essendo:

- L = luce della campata, ovvero interasse tra i tiranti
- tmax = reazione del tirante a metro lineare

Di seguito vengono riportate le tabelle con le verifiche delle travi di ripartizioni per SLU ed SLV.

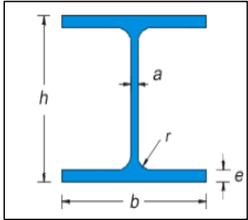
VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE SLU-STR							
Materiale	S275	-					
f_{yk}	275	N/mm ²	f_{yd}	261.90	N/mm ²		
f_{tk}	430	N/mm ²					
γ_{M0}	1.05	-					
γ_{M1}	1.05	-					
Profilo	HEB180		Proprietà Sezione				
		a	8.5	mm	J_x	3831	cm ⁴
		b	180	mm	J_y	1363	cm ⁴
		e	14	mm	$W_{el,x}$	425.7	cm ³
		r	15	mm	$W_{el,y}$	151.4	cm ³
		h	180	mm	$W_{pl,x}$	686.9504	cm ³
		Area	65.25	cm ²	$W_{pl,y}$	231.0135	cm ³
		Peso	51.2	kg/m			
		VERIFICHE SEZIONI:					
TAGLIO							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	V_{ed} [kN]	A_v [cm ²]	$V_{C,Rd}$ [kN]	FS [-]		
1	SLU-STR	117.33	20.24	306.05	0.38	Vc,Rd>Ved Verifica Superata	
2	SLU-STR	117.28	20.24	306.05	0.38	Vc,Rd>Ved Verifica Superata	
NB: con $V_{ed} \leq 0.5V_{C,Rd}$ la sollecitazione di taglio non viene considerata nella verifica a Flessione							
MOMENTO FLETTENTE							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	M_{ed} [kNm]	$W_{el,x}$ [cm ³]	$M_{C,Rd}$ [kNm]	FS [-]		
1	SLU-STR	55.73	425.70	111.49	0.50	Mc,Rd>Med Verifica Superata	
2	SLU-STR	55.71	425.70	111.49	0.50	Mc,Rd>Med Verifica Superata	

Tabella 22-Verifica Trave di Ripartizione SLU

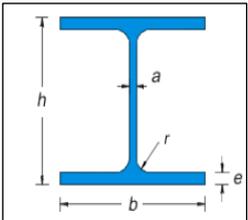
VERIFICA DELLA TRAVE DI RIPARTIZIONE SLV-STR							
Materiale	S275	-					
f_{yk}	275	N/mm ²	f_{yd}	261.90	N/mm ²		
f_{tk}	430	N/mm ²					
γ_{M0}	1.05	-					
γ_{M1}	1.05	-					
Profilo	HEB180		Proprietà Sezione				
		a	8.5	mm	J_x	3831	cm ⁴
		b	180	mm	J_y	1363	cm ⁴
		e	14	mm	$W_{el,x}$	425.7	cm ³
		r	15	mm	$W_{el,y}$	151.4	cm ³
		h	180	mm	$W_{pl,x}$	686.9504	cm ³
		Area	65.25	cm ²	$W_{pl,y}$	231.0135	cm ³
		Peso	51.2	kg/m			
		VERIFICHE SEZIONI:					
TAGLIO							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	V_{ed} [kN]	A_v [cm ²]	$V_{C,Rd}$ [kN]	FS [-]		
1	SLV-STR	92.32	20.24	306.05	0.30	Vc,Rd>Ved Verifica Superata	
2	SLV-STR	91.96	20.24	306.05	0.30	Vc,Rd>Ved Verifica Superata	
NB: con $V_{ed} \leq 0.5V_{C,Rd}$ la sollecitazione di taglio non viene considerata nella verifica a Flessione							
MOMENTO FLETTENTE							
ORDINE TIRANTI	Combinazione	M_{ed} [kNm]	$W_{el,x}$ [cm ³]	$M_{C,Rd}$ [kNm]	FS [-]		
1	SLV-STR	43.85	425.70	111.49	0.39	Mc,Rd>Med Verifica Superata	
2	SLV-STR	43.68	425.70	111.49	0.39	Mc,Rd>Med Verifica Superata	

Tabella 23-Verifica Trave di Ripartizione SLV

10.7.17 VERIFICA DI STABILITÀ

Al fine di verificare l'adeguatezza dell'intervento progettato, sono state eseguite le opportune verifiche di stabilità:

- Globale: in relazione alle condizioni generali del versante, si è individuando il meccanismo di collasso che coinvolge il sistema terreno - opera di sostegno provvisoria.

La verifica è stata svolta utilizzando il metodo di Bishop semplificato e considerando una griglia di centri fitta per avere maggiore precisione e determinata nelle proprietà di analisi della stabilità.

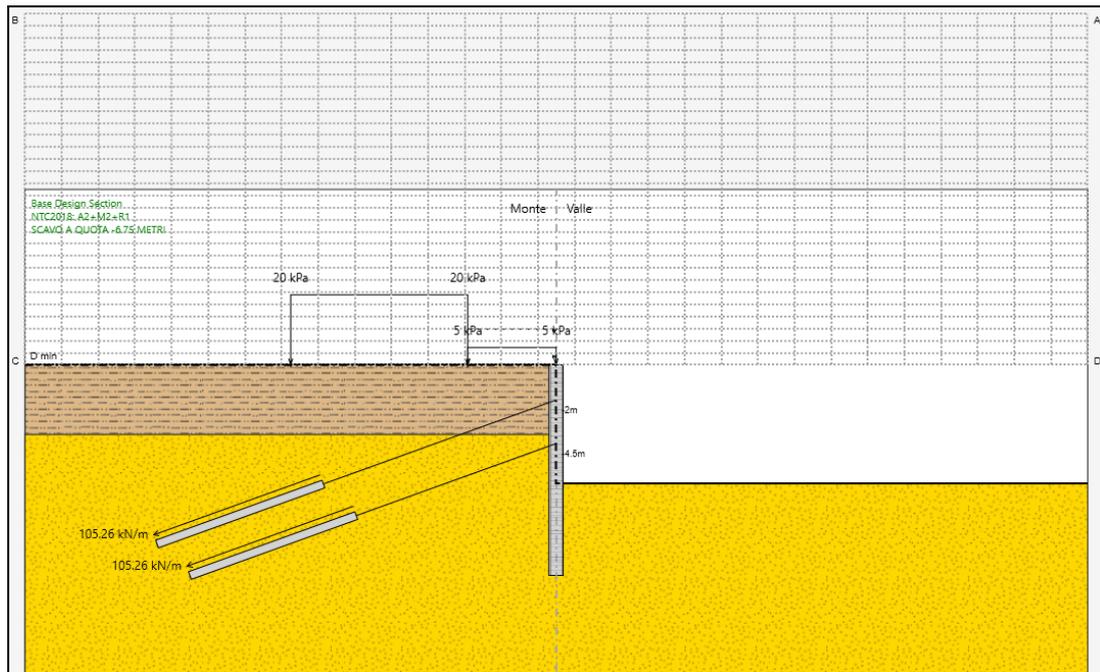


Figura 30-Griglia dei centri per la determinazione delle superfici di scorrimento

Il metodo di Bishop semplificato è il più diffuso ed utilizzato fra i metodi delle strisce; appartiene alla famiglia dei metodi all'equilibrio limite e si basa sull'individuazione di una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento.

Questo metodo è caratterizzato dall'ipotesi semplificativa per la quale per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione verticale delle forze agenti sulle facce laterali è nulla.

Il coefficiente di sicurezza che si ottiene corrisponde alla superficie di scorrimento potenziale critica e viene determinato per tentativi.

Inoltre nel caso di stabilità in presenza di sisma, come indicato al paragrafo 7.11.4, per fronti di scavo e rilevati si assume un coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito pari a 0.38 per SLV.

10.7.17.1 Globale

Nella verifica di stabilità globale, le condizioni indagate sono relative alla situazione di scavo provvisorio per il raggiungimento del fondo scavo sia in fase statica che in fase sismica. Di seguito si presentano i risultati delle analisi, mentre i modelli di calcolo sono i medesimi utilizzati per i calcoli strutturali e geotecnici della paratia:

Condizioni Statiche

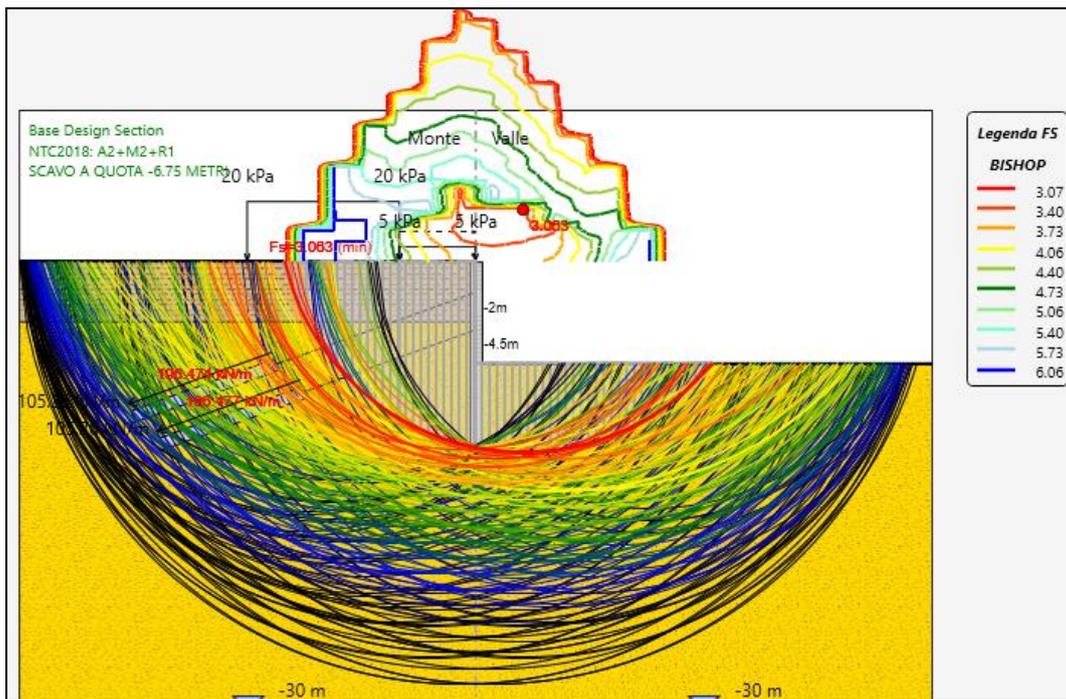


Figura 31-Superfici di scorrimento indagate SLU GEO

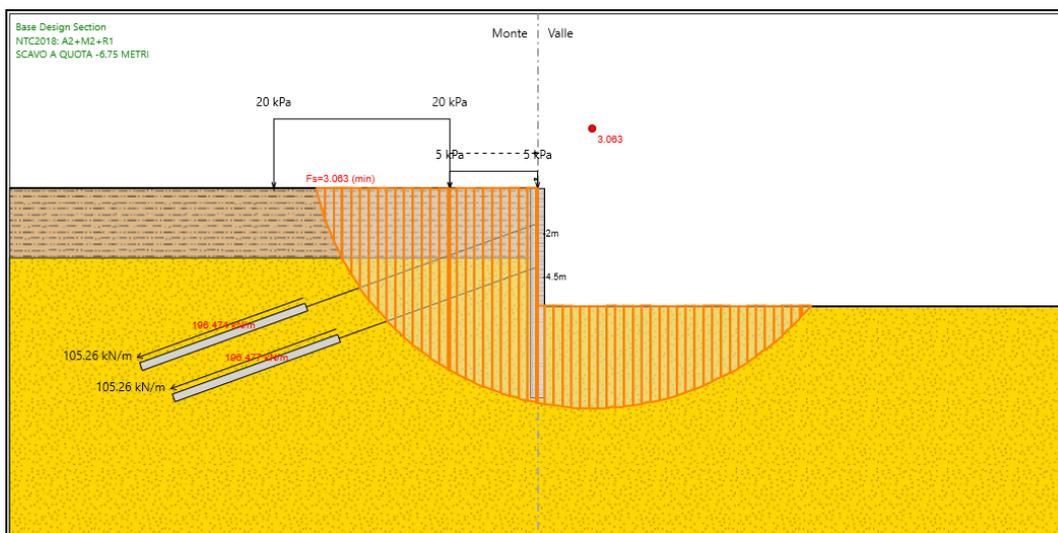


Figura 32 - Analisi di stabilità globale statica SLU GEO

PROGETTAZIONE ATI:

Condizioni Sismiche

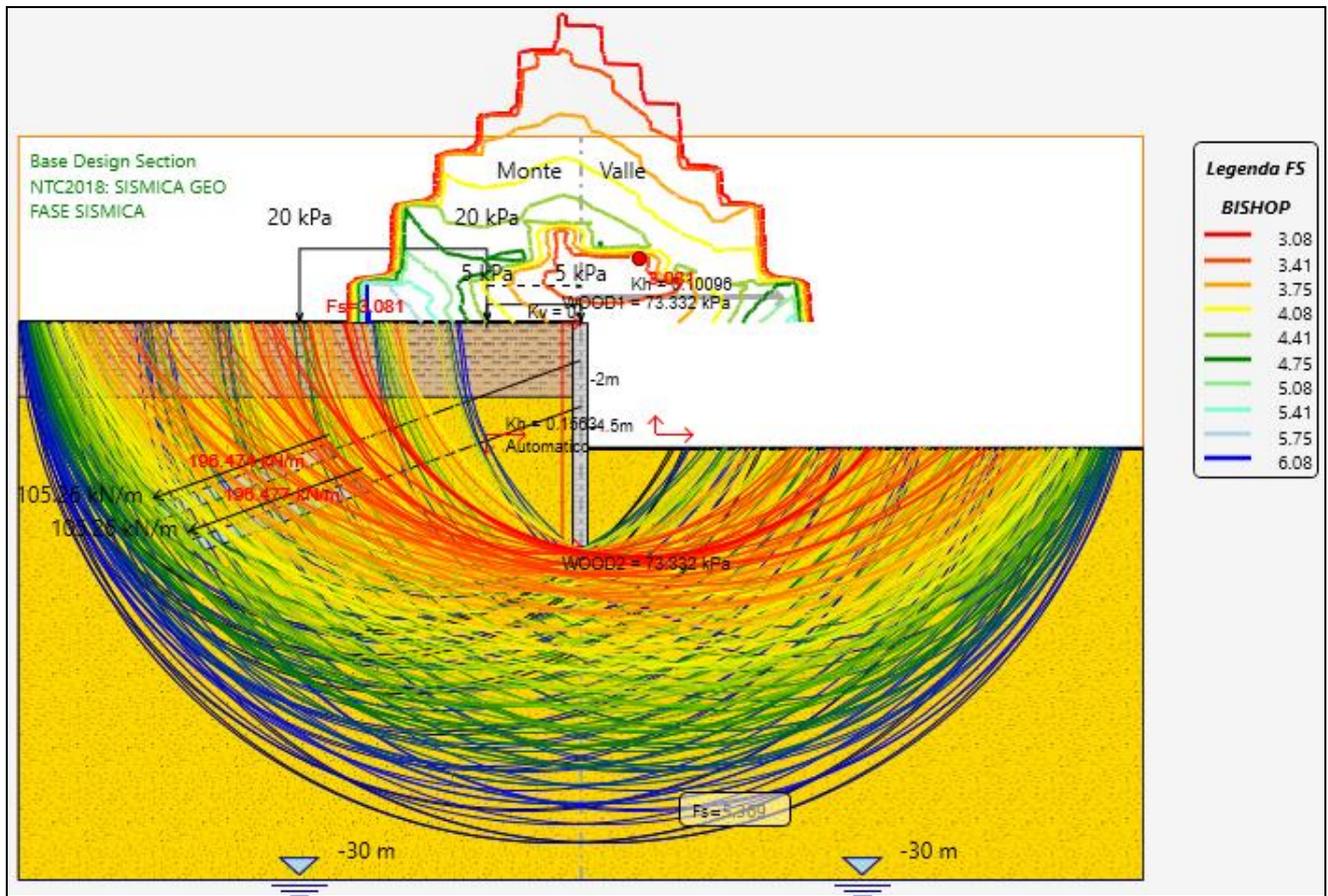


Figura 33-Superfici di scorrimento indagate SLV-GEO

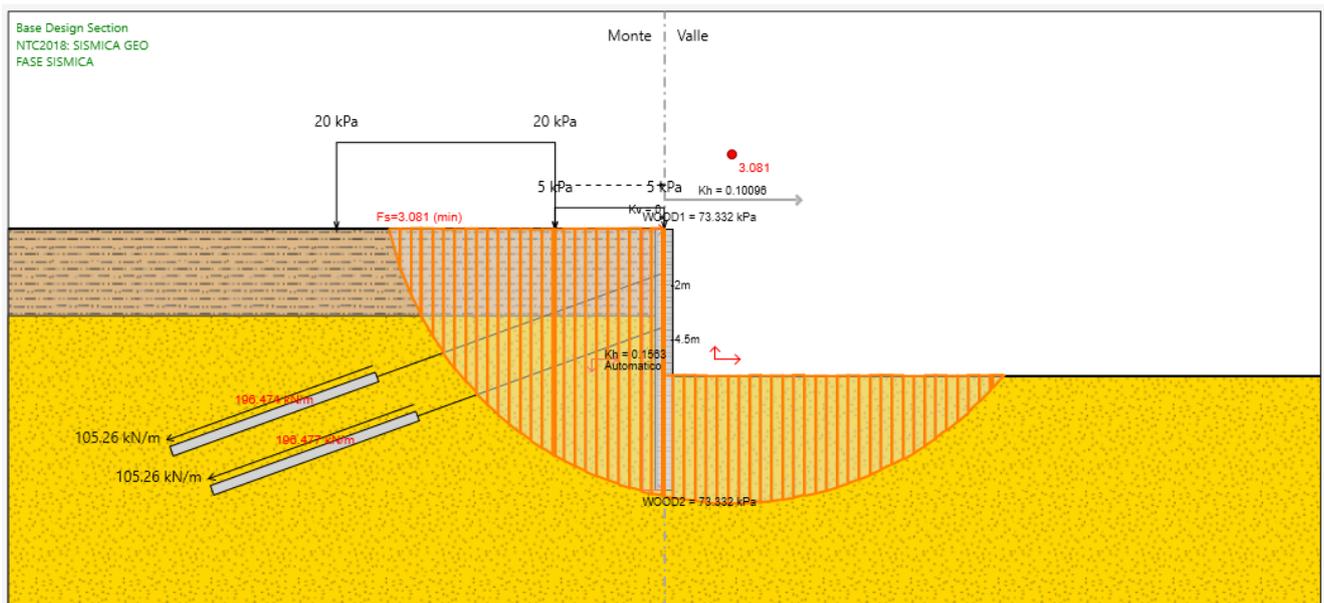


Figura 34 - Analisi di stabilità globale sismica SLV GEO

PROGETTAZIONE ATI:

In tabella si riepilogano di seguito i risultati delle analisi effettuate:

Condizione	FASE	FS	FS minimo
SLU GEO	7	3.063	1,1
SLV GEO	8	3.081	1,1

Tabella 24 Risultati delle analisi di stabilità globale

Il fattore di sicurezza minimo è sempre maggiore di 1,1 pertanto le verifiche di stabilità globale risultano soddisfatte.