

PNC - PNRR: Piano Nazionale Complementare al Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza nei territori colpiti dal sisma 2009-2016, Sub-misura A4,"Investimenti sulla rete stradale statale"

Lavori di adeguamento e/o miglioramento tecnico funzionale della sezione stradale in t.s. e potenziamento delle intersezioni - 1° Stralcio lungo la S.S. n. 210 "Fermana Faleriense" - Amandola - Servigliano"

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Eugenio Moroni
Ordine Roma n° 10020

IL GEOLOGO

Dott.ssa Geol. Maria Bruno
Ordine dei Geologi del Lazio al n° 668

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Francesco M. La Camera
Ordine Roma n° 7290

IMPRESA CONCORRENTE A.T.I.:

Mandatata:



Mandante:



RTP DI PROGETTAZIONE:

Mandatata:

S.T.E. s.r.l.

Structure and Transport Engineering

Mandant:



Dott. Geol. M. BRUNO

Direttore Tecnico
Ing. E. Moroni
Ordine Ing. Roma N. 10020

Direttore Tecnico
Ing. G. Grimaldi
Ordine Ing. Roma N. 17703A

Ordine Geologi
Lazio N. 668

OPERE D' ARTE MINORI

Opere di Sostegno

OS08 Paratia di Pali di controripa - Relazione di calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV.PROG.	ANNO	T03_OS08_STR_RE01_A			
A N 2 6 6	D	2 3	CODICE ELAB. T 0 3 O S 0 8 S T R R E 0 1		A	-
D						
C						
B						
A	EMISSIONE		Giugno 2023	CITRO	ALESSANDRONI	LA CAMERA
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

Sommario

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA E RIFERIMENTI	5
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4	PARAMETRI GEOTECNICI.....	7
5	DEFINIZIONE AZIONE SISMICA	8
6	CRITERI E VERIFICA DELLE OPERE	10
6.1	AZIONI	10
6.2	APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA	10
6.2.1	<i>Stato limite ultimo (S.L.U.)</i>	<i>12</i>
6.2.2	<i>Stato limite di esercizio (S.L.E.).....</i>	<i>15</i>
6.3	METODI DI ANALISI	16
6.3.1	<i>Calcolo della profondità di infissione.....</i>	<i>16</i>
6.3.2	<i>Calcolo delle Spinte</i>	<i>17</i>
6.3.3	<i>Analisi dei pali</i>	<i>19</i>
6.4	CRITERI DI VERIFICA	20
6.4.1	<i>Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera.....</i>	<i>20</i>
6.4.2	<i>Stabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno</i>	<i>20</i>
6.4.3	<i>Verifiche idrauliche</i>	<i>21</i>
6.4.4	<i>Schematizzazione paratia, terreno e interazione terreno-struttura</i>	<i>22</i>
7	ANALISI E VERIFICA DELLA PARATIA – SEZ. TIPO “A”.....	25
7.1	DATI DI INPUT	25
7.1.1	<i>Risultati delle analisi – MODELLO “STATIC”</i>	<i>30</i>
7.1.2	<i>Risultati delle analisi – MODELLO “SISMIC”</i>	<i>34</i>
7.2	VERIFICHE SLU - GEO	39
7.2.1	<i>Collasso per rotazione</i>	<i>39</i>
7.2.2	<i>Verifica del complesso opera-terreno.....</i>	<i>39</i>
7.3	VERIFICHE SLU - STR	42
7.3.1	<i>Verifiche strutturali pali in c.a.....</i>	<i>42</i>
7.3.2	<i>Verifiche strutturali cordoli in c.a.</i>	<i>43</i>
7.4	VERIFICHE SLE	44
7.4.1	<i>Verifiche strutturali.....</i>	<i>44</i>
7.4.2	<i>Verifica spostamenti.....</i>	<i>45</i>
8	ANALISI E VERIFICA DELLA PARATIA – SEZ. TIPO “B”.....	48
8.1	DATI DI INPUT	48
8.1.1	<i>Risultati delle analisi – MODELLO “STATIC”</i>	<i>53</i>
8.1.2	<i>Risultati delle analisi – MODELLO “SISMIC”</i>	<i>57</i>
8.2	VERIFICHE SLU - GEO	61

8.2.1	<i>Collasso per rotazione</i>	61
8.2.2	<i>Verifica del complesso opera-terreno</i>	61
8.3	VERIFICHE SLU - STR	64
8.3.1	<i>Verifiche strutturali pali in c.a.</i>	64
8.3.2	<i>Verifiche strutturali cordoli in c.a.</i>	65
8.4	VERIFICHE SLE	66
8.4.1	<i>Verifiche strutturali</i>	66
8.4.2	<i>Verifica spostamenti</i>	67
9	DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (PUNTO 10.2)	70
9.1	ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO	70
9.1.1	<i>Tipo di analisi svolta</i>	70
9.1.2	<i>Origine e caratteristiche dei codici di calcolo</i>	70
9.1.3	<i>Affidabilità dei codici di calcolo</i>	70
9.1.4	<i>Modalità di presentazione dei risultati</i>	71
9.1.5	<i>Informazioni generali sull'elaborazione</i>	71
9.1.6	<i>Giudizio motivato di accettabilità dei risultati</i>	71

1 PREMESSA

La presente relazione contiene le analisi e le verifiche della paratia OS08, da realizzarsi sul ciglio destro delle viabilità VS01 A e VS01 C, tra le progressive 17.19 (VS01 A) e 50.11 (VS01 C) a protezione dell'edificio esistente, nell'ambito del Progetto Definitivo per la realizzazione dell'intervento denominato del 1° Stralcio dei lavori di adeguamento tecnico funzionale della sezione stradale in T.S. e potenziamento delle intersezioni lungo la S.S. 210 Picena" – Amandola-Servigliano (Lotto 3).

A seguire gli stralci planimetrici, prospetto e sezione tipo dell'opera in oggetto:

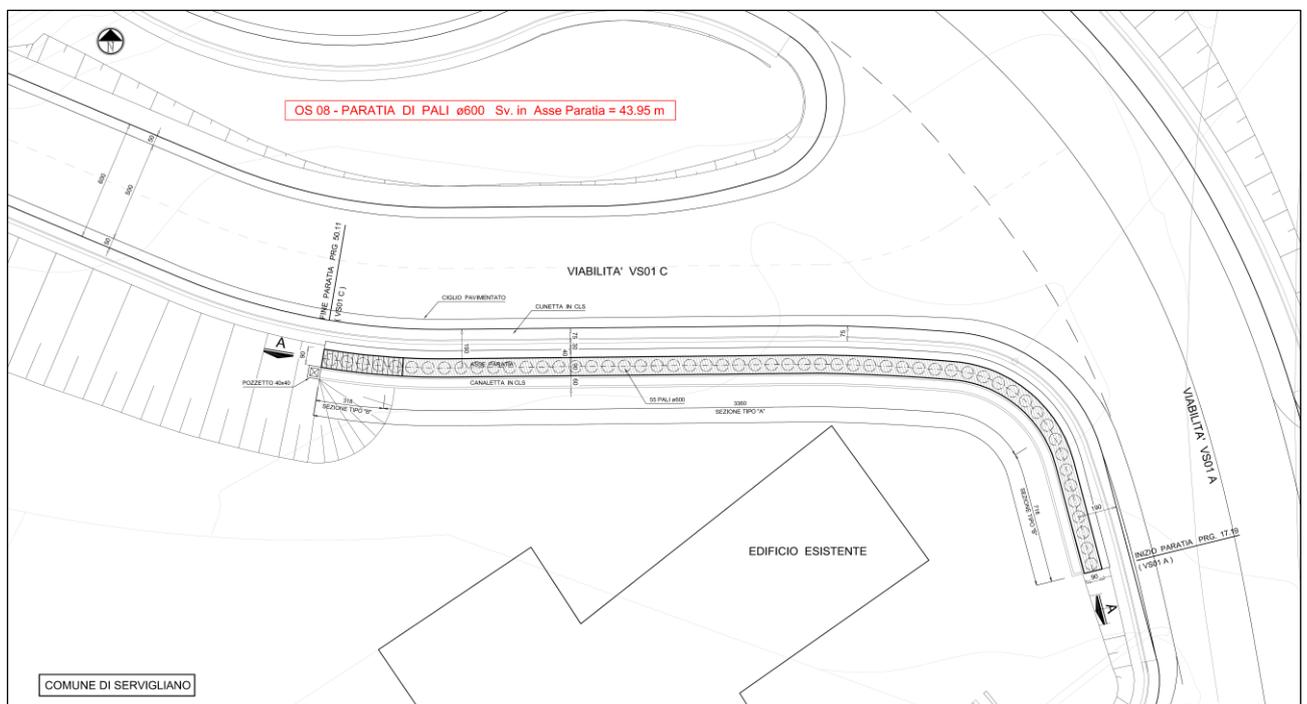


Figura 1 – Stralcio planimetrico

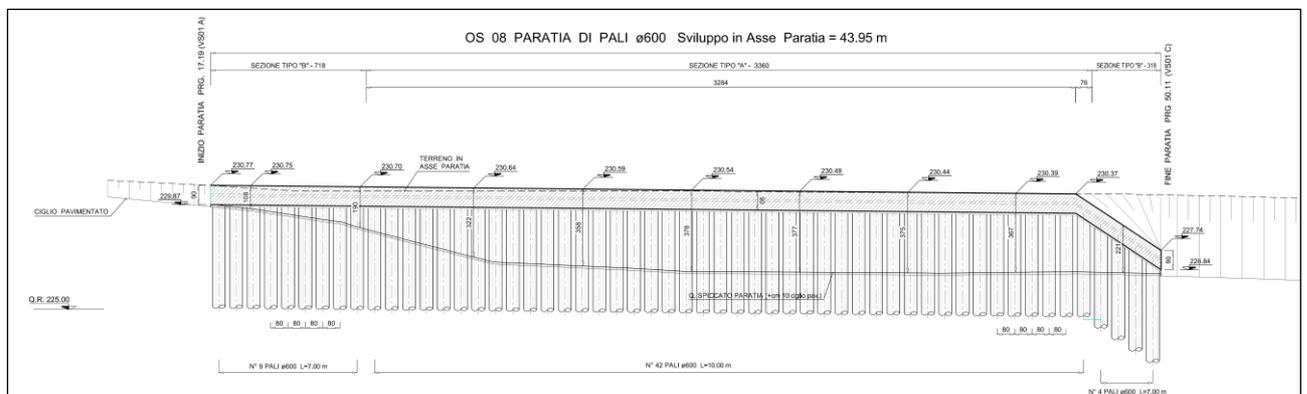


Figura 2 – Prospetto

2 **NORMATIVA E RIFERIMENTI**

Nell'esecuzione dei calcoli si fa riferimento alla legislazione vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

- D. M. Min. II. TT. del 17 gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n.7 "Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni;
- CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n.617 "Istruzione per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008;
- UNI EN 1990:2006 13/04/2006 Eurocodice 0 - Criteri generali di progettazione strutturale;
- UNI EN 1991-1-1:2004 01/08/2004 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture -Parte 1-1:
Azioni in generale - Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici;
- UNI EN 1991-1-6:2005 26/09/2005 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture -Parte 1-6:
Azioni in generale - Azioni durante la costruzione;
- UNI EN 1991-1-7:2006 05/12/2006 Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture -Parte 1-7:
Azioni in generale - Azioni eccezionali;
- UNI EN 1992-1-1:2005 24/11/2005 Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-1-1:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici;
- UNI EN 1993-1-8:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-8: Progettazione dei collegamenti;
- UNI EN 1993-1-9:2005 01/08/2005 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1-9: Fatica;
- UNI ENV 1993-5:2002 01/01/2002 Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e micropali;
- UNI EN 1997-1:2005 01/02/2005 Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica -Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1998-1:2005 01/03/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici;
- UNI EN 1998-2:2006 09/02/2006 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 2: Ponti;

- UNI EN 1998-5:2005 01/01/2005 Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- UNI EN 206-1-2001 - Calcestruzzo, "Specificazione, prestazione, produzione e conformità".
- Annessi nazionali degli eurocodici approvati nel 2011.
- AICAP/93: Ancoraggi nei terreni e nelle rocce. Raccomandazioni.

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZI

R_{ck} = Resistenza caratteristica cubica

f_{ck} = Resistenza caratteristica cilindrica = $R_{ck} \times 0.83$

f_{cd} = Resistenza di calcolo cilindrica = $\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$

α_{cc} = coefficiente riduttivo = 0.85

γ_c = coefficiente di sicurezza = 1.5

Cls pali

Classe del calcestruzzo		C28/35	
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	≥ 35.00	[MPa]
Resistenza caratteristica	f_{ck}	$= 29.05$	[MPa]
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	$= 2.83$	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	$= 16.46$	[MPa]
Modulo elastico	E_c	$= 32587$	[MPa]
Copriferro	c	$= 75.00$	[mm]
Classe di esposizione		XC2+XA1	

Cls cordolo di testa

Classe del calcestruzzo		C32/40	
Resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	≥ 40.00	[MPa]
Resistenza caratteristica	f_{ck}	$= 33.20$	[MPa]
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	$= 3.10$	[MPa]
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha f_{ck} / \gamma_c$	$= 18.81$	[MPa]
Modulo elastico	E_c	$= 33642$	[MPa]
Copriferro	c	$= 45.00$	[mm]
Classe di esposizione		XC4+XD1	

ACCIAI

f_{yk} = Tensione caratteristica di snervamento

f_{yd} = Resistenza di calcolo f_{yk}/γ_s

γ_s = coefficiente di sicurezza = 1.15

Acciaio per armatura ordinaria

Tipo		B450C (ex Fe B 44k)
Tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	≥ 540.00 [MPa]
Tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	≥ 450.00 [MPa]
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	$= 391.30$ [MPa]
Modulo elastico	Es	$= 210000$ [MPa]

4 PARAMETRI GEOTECNICI

Il modello geotecnico è stato definito in conformità alle indicazioni riportate negli elaborati geotecnici di progetto, ai quali si rimanda per ulteriori dettagli.

Nello specifico, il profilo geotecnico in corrispondenza della progressiva dell'opera (0+260 circa dell'asse principale) ha evidenziato in superficie la presenza dell'unità **ALL_Gs**; di seguito si riporta la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dall'opera:

Stratigrafia da testa cordolo	Unità Geotecnica	γ	c'	ϕ'	cu
		(kN/m ³)	(kPa)	(°)	(kPa)
0.00 ÷ 14.00	ALL_Ls	19.5	5÷10	27÷32	50100
> 14.00	Ma	20.5	10÷15	28÷31	300

In fase di modellazione dell'opera sono stati assunti i seguenti valori all'interno dei range forniti:

ALL_Ls – Limo sabbioso-Sabbie limose

peso di volume naturale	γ	$= 19.5$ kN/m ³
angolo di attrito	ϕ'	$= 28^\circ$
coesione drenata	c'	$= 5$ kPa

Ma – Marne-Argille marnose

peso di volume naturale	γ	$= 20.5$ kN/m ³
angolo di attrito	ϕ'	$= 29^\circ$
coesione drenata	c'	$= 12$ kPa
coesione non drenata	c_u	$= 300$ kPa

Falda a quota -14 m da testa palo e non interferente con l'opera in progetto.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati specialistici.

Nota: L'analisi è stata condotta sia in termini di tensioni totali che di tensioni efficaci, utilizzando alternativamente per le argille i parametri meccanici non drenati ($\varphi = 0$ e $c = c_u$) e drenati ($\varphi = \varphi'$ e $c = c'$). Nel seguito si riporteranno, per brevità, le risultanze relative alle condizioni più conservative.

5 DEFINIZIONE AZIONE SISMICA

Per tutte le opere di sostegno si è scelto di utilizzare lo spettro relativo al comune di Servigliano, poiché, seppure con una minima variazione, fornisce accelerazioni superiori rispetto agli altri comuni interessati dall'intervento in oggetto.

Per le strutture di sostegno, si definisce una vita nominale V_N pari a 50 anni e una classe d'uso IV a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 2 (§ 2.4.2, DM 17/01/2018). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a $V_R = V_N \cdot C_u = 100$ anni.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto, T_R , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

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

Per la definizione delle azioni sismiche di progetto si è fatto riferimento al punto 3.2 delle NTC 2018; innanzitutto sono state determinate le coordinate dell'area di interesse pari a **43.074814 lat nord e 13.483756 long est**, quindi sono stati valutati i parametri a_g , F_0 e T^*_C in tali coordinate andando a fare una media pesata tra i valori riportati all'allegato B delle NTC08 per i valori assunti nei 4 vertici del reticolo all'interno dei quali cade il punto di interesse.

Le grandezze sismiche sono ricavate con il software Spettri-NTCver1.3 del C.S.LL.PP.:

Parametri sismici				
	T_R [anni]	a_g [m/s ²]	F_0 [...]	T_C^* [s]
SLO	60	0,749	2,452	0,295
SLD	101	0,934	2,439	0,315
SLV	949	2,205	2,485	0,346
SLC	1950	2,803	2,521	0,353

Figura 4 – Parametri Sismici su sito di riferimento rigido

Per tenere conto dei fattori locali del sito, il coefficiente di intensità sismica orizzontale è valutato con la relazione (DM 17/01/2018):

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot S_s \cdot S_T \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)$$

dove:

- a_g : accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.
- S_s : fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici F_0 e a_g/g (Tabella 3.2.IV del D.M. 17/01/2018);
- S_T : fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/2018).
- α, β : coefficiente di riduzione

La categoria di sottosuolo è stata definita sulla base delle prove sismiche effettuate. La categoria topografica è stata definita considerando le inclinazioni del versante interagente con l'opera di sostegno. I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica sono riassunti nella seguente tabella:

Stato limite	SLV	SLD
T_R	949	101
a_g/g	0.225	0.095
F_0	2.485	2.449
Categoria sottosuolo	B	B
S_s	1.177	1.200
Categoria topografica	T1	T1
S_T	1.000	1.000
β	0.380	0.470
α	1.000	1.000
k_h	0.101	0.054

Tabella 1 – Parametri per la definizione dell'azione sismica

6 CRITERI E VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 17/01/2018 e della Circolare n.617/09 (rif. [1] e rif. [2]).

6.1 AZIONI

Le azioni considerate per la verifica delle strutture di sostegno sono le seguenti:

- azioni **permanenti strutturali**: peso proprio degli elementi strutturali, spinta del terreno a monte e a valle dell'opera.
- azioni **variabili**: carico variabile sul piano campagna a monte della struttura di sostegno, Q_{IM} , atto a schematizzare nella fase costruttiva l'eventuale presenza di sovraccarichi di varia natura connessi alla realizzazione delle opere ($q=20$ kN/mq).
- azioni **sismiche**: considerando che le opere sono da considerarsi in zona urbana di intenso traffico, è stato considerato un valore non nullo delle masse corrispondenti ai carichi da traffico; in particolare è stato assunto $\psi_{2j}=0.2$.

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal DM 17/01/2018, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche di stati limite ultimi e di esercizio.

6.2 APPROCCI PROGETTUALI E METODI DI VERIFICA

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

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - instabilità globale del complesso opera di sostegno - terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

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

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II, con i coefficienti γ_R del gruppo R1 pari all'unità.

Nelle tabelle riportate di seguito sono stati riportati i coefficienti parziali adottati nelle varie combinazioni richieste dalla norma.

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

Tabella 2 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

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	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	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

Tabella 3 – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Oltre alle verifiche agli stati limite ultimi (SLU) nei confronti di pressoflessione e taglio, dovranno essere svolte verifiche in condizioni di esercizio (SLE) e stato limite di danno (SLD). Occorrerà verificare, per entrambi gli stati limite, che lo stato tensionale e di fessurazione dei vari elementi strutturali sia compatibile con il valore ammissibile per i materiali impiegati. In condizioni unicamente statiche (SLE), dovranno essere analizzati gli spostamenti dell'opera valutandone la compatibilità con la funzionalità della stessa.

6.2.1 Stato limite ultimo (S.L.U.)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione:

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

e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

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

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto $E_d = E_k \cdot \gamma_E$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza compare esplicitamente il coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza.

Le verifiche della suddetta condizione devono essere effettuate 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 ed R3).

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

Nel caso delle paratie si adotta l'Approccio 1 per cui sono previste due diverse combinazioni di cui la prima, definita STR, generalmente più gravosa per le verifiche strutturali, mentre la seconda, definita GEO, generalmente più gravosa per le verifiche di tipo geotecnico.

Tutte le verifiche precedentemente elencate dovranno essere condotte unicamente facendo riferimento all'Approccio 1 secondo quanto specificato nel seguito.

SLU di tipo geotecnico (GEO):

- **Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (atto di moto rigido)**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico (GEO) si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e, specificatamente, dal raggiungimento delle condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con la paratia. L'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 2 (A2+M2+R1), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti γ_R sulla resistenza globale (R1) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto

sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza il valore di progetto delle spinte attiva e passiva risultano rispettivamente maggiore e minore, se riferiti a quelli calcolati con i parametri caratteristici. In linea generale, per la Combinazione 2, essendo i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti pari ad 1.0 e dei variabili pari ad 1.3 (gruppo A2), si opererà applicando in fase di calcolo un coefficiente moltiplicativo ai carichi variabili pari a $\gamma_Q=1.3$.

- **Instabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per la verifica dell'instabilità globale dell'insieme terreno-opera l'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 2 (A2+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti sulla resistenza globale (R2) sono riportati nella tabella successiva e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici. In linea generale, per la Combinazione in oggetto, essendo i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti pari ad 1.0 e dei variabili pari ad 1.3 (gruppo A2), si opererà applicando in fase di calcolo un coefficiente moltiplicativo ai carichi variabili pari a $\gamma_Q=1.3$.

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Combinazioni per analisi statiche SLU							
	Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
	<u>Permanenti</u>		<u>Variabili</u>				
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	tan ω'	c'	c _u
STR (A1 + M1)	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
GEO (A2 + M2)	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

I coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche relativamente ad ogni singolo SLU precedentemente analizzato sono di seguito indicati:

Coefficienti parziali per le verifiche di paratie			
Verifica	Coeff. parziale (R1)	Coeff. parziale (R2)	Coeff. parziale (R3)
Raggiungimento resistenza in uno o più ancoraggi	$\gamma_R=1.0$	-	-
Raggiungimento resistenza strutturale della paratia	$\gamma_R=1.0$	-	-
Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera	$\gamma_R=1.0$	-	-
Instabilità del fondo scavo per sollevamento	$\gamma_R=1.0$	-	-
Instabilità globale dell'insieme terreno-opera	-	$\gamma_R=1.1$	-
Sfilamento di uno o più ancoraggi	Temporanei	-	$\gamma_R=1.1$
	Permanenti	-	$\gamma_R=1.2$

SLU di tipo strutturale (STR):

- **Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali**

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento strutturale (STR) l'analisi sarà condotta con riferimento alla Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella quale i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1. In questo caso i coefficienti parziali amplificativi delle azioni saranno applicati direttamente sulle sollecitazioni, calcolate con i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze. In linea generale, per la Combinazione 1, essendo i coefficienti parziali amplificativi delle azioni permanenti e variabili (gruppo A1) diversi, si opererà applicando in fase di calcolo un coefficiente moltiplicativo ai carichi variabili pari a $\gamma_Q/\gamma_{G1}=1.5/1.3=1.15$ e moltiplicando successivamente gli effetti delle azioni $E_d=E_k \cdot \gamma_E$ per $\gamma_E=\gamma_{G1}=1.3$.

Secondo quanto disposto dalla normativa, la verifica della sicurezza agli stati limite ultimi per costruzioni di conglomerato cementizio si ritiene soddisfatta quando, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulti:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione pari all'azione nominale moltiplicata per il coefficiente parziale per le azioni, mentre R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema, valutato con riferimento ai coefficienti parziali per le resistenze, che variano in funzione dei materiali.

Le resistenze di calcolo dei materiali, conglomerato cementizio e acciaio, si ottengono mediante l'espressione:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck} \times \alpha_{cc}}{\gamma_c}$$

con:

f_{ck} = resistenza cilindrica caratteristica del materiale

γ_c = coefficiente parziale per la resistenza (1.50)

$\alpha_{cc} = 0.85$

La tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio risulta invece pari a:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

con:

f_{yk} = tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio (450.0 MPa)

γ_s = coefficiente parziale per la resistenza (1.15)

6.2.2 Stato limite di esercizio (S.L.E.)

Le opere ed i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio.

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

$$E_d \leq C_d$$

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

Si dovrà verificare che lo stato tensionale e di fessurazione dei vari elementi strutturali sia compatibile con il valore ammissibile per i materiali impiegati; inoltre le analisi dovranno valutare gli spostamenti dell'opera per consentire di verificarne la compatibilità con la funzionalità attesa per l'opera stessa.

Nelle seguenti tabelle si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa.

Combinazioni per analisi statiche SLE						
Azioni (γ_F)				Proprietà del terreno (γ_M)		
<u>Permanenti</u>		<u>Variabili</u>				
Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	$\tan \phi'$	c'	c_u
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

6.3 METODI DI ANALISI

6.3.1 Calcolo della profondità di infissione

Nel caso generale l'equilibrio della paratia è assicurato dal bilanciamento fra la spinta attiva agente da monte sulla parte fuori terra, la resistenza passiva che si sviluppa da valle verso monte nella zona interrata e la controspinta che agisce da monte verso valle nella zona interrata al di sotto del centro di rotazione.

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la controspinta sarà assente. Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, controspinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

Nel calcolo classico delle paratie si suppone che essa sia infinitamente rigida e che possa subire una rotazione intorno ad un punto (Centro di rotazione) posto al di sotto della linea di fondo scavo (per paratie non tirantate).

Occorre pertanto costruire i diagrammi di spinta attiva e di spinta (resistenza) passiva agenti sulla paratia. A partire da questi si costruiscono i diagrammi risultanti.

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

- K_{am} diagramma della spinta attiva agente da monte
- K_{av} diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
- K_{pm} diagramma della spinta passiva agente da monte
- K_{pv} diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$$D_m = K_{pm} - K_{av} \quad e \quad D_v = K_{pv} - K_{am}$$

Questi diagrammi rappresentano i valori limiti delle pressioni agenti sulla paratia. La soluzione è ricercata per tentativi facendo variare la profondità di infissione e la posizione del centro di rotazione fino a quando non si raggiunge l'equilibrio sia alla traslazione che alla rotazione.

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione si può agire con tre modalità:

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio
2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(\phi)$ e sulla coesione

6.3.2 *Calcolo delle Spinte*

METODO DI CULMANN (metodo del cuneo di tentativo)

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb: cuneo di spinta a monte della parete che si muove rigidamente lungo una superficie di rottura rettilinea o spezzata (nel caso di terreno stratificato).

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere un'espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente.

Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione ρ rispetto all'orizzontale) e si considera il cuneo di spinta delimitato dalla superficie di rottura stessa, dalla parete su cui si calcola la spinta e dal profilo del terreno;
- si valutano tutte le forze agenti sul cuneo di spinta e cioè peso proprio (W), carichi sul terrapieno, resistenza per attrito e per coesione lungo la superficie di rottura (R e C) e resistenza per coesione lungo la parete (A);
- dalle equazioni di equilibrio si ricava il valore della spinta S sulla parete.

Questo processo viene iterato fino a trovare l'angolo di rottura per cui la spinta risulta massima nel caso di spinta attiva e minima nel caso di spinta passiva.

Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata z . Noto il diagramma delle pressioni si ricava il punto di applicazione della spinta.

SPINTA IN PRESENZA DI FALDA

Nel caso in cui a monte della parete sia presente la falda il diagramma delle pressioni risulta modificato a causa della sottospinta che l'acqua esercita sul terreno. Il peso di volume del terreno al di sopra della linea di falda non subisce variazioni. Viceversa al di sotto del livello di falda va considerato il peso di volume efficace

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

dove γ_{sat} è il peso di volume saturo del terreno (dipendente dall'indice dei pori) e γ_w è il peso specifico dell'acqua. Quindi il diagramma delle pressioni al di sotto della linea di falda ha una pendenza minore. Al diagramma così ottenuto va sommato il diagramma triangolare legato alla pressione esercitata dall'acqua.

Il regime di filtrazione della falda può essere idrostatico o idrodinamico.

Nell'ipotesi di regime idrostatico sia la falda di monte che di valle viene considerata statica, la pressione in un punto a quota h al di sotto della linea freatica sarà dunque pari a:

$$\gamma_w \cdot h$$

SPINTA IN PRESENZA DI SISMA

Per tenere conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di *Mononobe-Okabe* (cui fa riferimento la Normativa Italiana).

Tale metodo considera nell'equilibrio del cuneo spingente la forza di inerzia dovuta al sisma. Indicando con W il peso del cuneo e con C il coefficiente di intensità sismica la forza di inerzia valutata come

$$F_i = W \cdot C$$

Indicando con S la spinta calcolata in condizioni statiche e con S_s la spinta totale in condizioni sismiche l'incremento di spinta è ottenuto come

$$DS = S - S_s$$

L'incremento di spinta viene applicato a 1/2 dell'altezza della parete stessa (diagramma rettangolare).

6.3.3 Analisi dei pali

Per l'analisi della capacità portante dei pali occorre determinare alcune caratteristiche del terreno in cui si va ad operare. In particolare bisogna conoscere l'angolo d'attrito f e la coesione c . Per pali soggetti a carichi trasversali è necessario conoscere il modulo di reazione laterale o il modulo elastico laterale.

La capacità portante di un palo solitamente viene valutata come somma di due contributi: portata di base (o di punta) e portata per attrito laterale lungo il fusto. Cioè si assume valida l'espressione:

$$Q_t = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

Q_T	portanza totale del palo
Q_p	portanza di base del palo
Q_l	portanza per attrito laterale del palo
W_p	peso proprio del palo

e le due componenti Q_p e Q_l sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta h_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale h_l .

Palo compresso:

$$Q_d = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_d = \frac{Q_l}{\eta_l} - W_p$$

CAPACITÀ PORTANTE DI PUNTA

In generale la capacità portante di punta viene calcolata tramite l'espressione:

$$Q_p = A_p \left(cN'_c + qN'_q + \frac{1}{2} B\gamma N'_\gamma \right)$$

dove:

A_p	è l'area portante efficace della punta del palo
c	è la coesione
q	è la pressione geostatica alla quota della punta del palo
g	è il peso specifico del terreno
D	è il diametro del palo

N'_c N'_q N'_γ sono i coefficienti di capacità portante corretti per tener conto degli effetti di forma e di profondità.

CAPACITÀ PORTANTE PER RESISTENZA LATERALE

La resistenza laterale è data dall'integrale esteso a tutta la superficie laterale del palo delle tensioni tangenziali palo-terreno in condizioni limite:

$$Q_l = \int_S \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

$$\tau_a = c_a + \sigma_h \tan \delta$$

dove:

- c_a è l'adesione palo-terreno
- d è l'angolo di attrito palo-terreno
- g è il peso specifico del terreno
- z è la generica quota a partire dalla testa del palo
- L è la lunghezza del palo
- P è il perimetro del palo
- K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

6.4 CRITERI DI VERIFICA

6.4.1 Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera

La verifica all'equilibrio globale alla rotazione viene implicitamente soddisfatta mediante l'analisi di interazione terreno struttura, condotta mediante il programma di calcolo, che nell'analizzare il sistema di sollecitazioni e deformazioni verifica tutte le condizioni di equilibrio del sistema.

6.4.2 Stabilità globale dell'insieme terreno-opera di sostegno

La verifica alla stabilità globale del complesso paratia+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,10.

È usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento è supposta circolare.

In particolare, il programma esamina, per un dato centro 3 cerchi differenti: un cerchio passante per la linea di fondo scavo, un cerchio passante per il piede della paratia ed un cerchio passante per il punto medio della parte interrata. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità della paratia. Il numero di strisce è pari a 50.

Il coefficiente di sicurezza fornito da Fellenius si esprime secondo la seguente formula:

$$\eta = \frac{\sum_{i=0}^n \left[\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{i=0}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove n è il numero delle strisce considerate, b_i e a_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima e c_i e f_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava h . Questo procedimento è eseguito per il numero di centri prefissato ed è assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

L'analisi delle condizioni sismiche viene effettuata con il metodo pseudo-statico, in cui l'azione sismica è proporzionale al peso W del terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale di tale forza sono espresse come $F_h = k_h \cdot W$ e $F_v = k_v \cdot W$:

$$k_h = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right)$$

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Il coefficiente β_s è definito secondo la tabella 7.11.I del DM 17/01/2018.

6.4.3 Verifiche idrauliche

VERIFICA A SIFONAMENTO

Per la verifica a sifonamento si utilizza il metodo del gradiente idraulico critico.

Il coefficiente di sicurezza nei confronti del sifonamento è dato dal rapporto tra il gradiente critico i_c e il gradiente idraulico di efflusso i_E .

$$FS_{SIF} = i_c / i_E$$

Il gradiente idraulico critico è dato dal rapporto tra il peso efficace medio γ_m del terreno interessato da filtrazione ed il peso dell'acqua γ_w .

$$i_c = \gamma_m / \gamma_w$$

Il gradiente idraulico di efflusso è dato dal rapporto tra la differenza di carico DH e la lunghezza della linea di flusso L .

$$i_E = \Delta H / L$$

Il moto di filtrazione è assunto essere monodimensionale.

VERIFICA A SOLLEVAMENTO DEL FONDO SCAVO

Per la verifica a sollevamento si utilizza il metodo di Terzaghi.

Il coefficiente di sicurezza nei fenomeni di sollevamento del fondo scavo deriva da considerazioni di equilibrio verticale di una porzione di terreno a valle della paratia soggetta a tale fenomeno.

Secondo Terzaghi il volume interessato da sollevamento ha profondità D e larghezza $D/2$.

D rappresenta la profondità di infissione della paratia.

Il coefficiente di sicurezza è dato dal rapporto tra il peso del volume di terreno sopra descritto W e la pressione idrica al piede della paratia U dovuta dalla presenza di una falda in moto idrodinamico.

$$FS_{SCAVO} = W / U$$

La pressione idrodinamica è calcolata nell'ipotesi di filtrazione monodimensionale.

6.4.4 Schematizzazione paratia, terreno e interazione terreno-struttura

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia I e l'area A per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia. La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dall'eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta L la lunghezza libera del tirante, A_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L , area A_f , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

I carichi agenti possono essere di tipo distribuito (spinta della terra, diagramma aggiuntivo di carico, spinta della falda, diagramma di spinta sismica) oppure concentrati. I carichi distribuiti sono riportati sempre come carichi concentrati nei nodi (sotto forma di reazioni di incastro perfetto cambiate di segno).

La modellazione del terreno si rifà al classico schema di Winkler. Esso è visto come un letto di molle indipendenti fra di loro reagenti solo a sforzo assiale di compressione. La rigidità della singola molla è legata alla costante di sottofondo orizzontale del terreno (costante di Winkler). La costante di sottofondo, k , è definita come la pressione unitaria che occorre applicare per ottenere uno spostamento unitario. Dimensionalmente è

espressa quindi come rapporto fra una pressione ed uno spostamento al cubo $[F/L^3]$. È evidente che i risultati sono tanto migliori quanto più è elevato il numero delle molle che schematizzano il terreno. Se m è l'interasse fra le molle (in cm) e b è la larghezza della paratia in direzione longitudinale ($b=100$ cm) occorre ricavare l'area equivalente, A_m , della molla (a cui si assegna una lunghezza pari a 100 cm). Indicato con E_m il modulo elastico del materiale costituente la paratia (in Kg/cm^2), l'equivalenza, in termini di rigidità, si esprime come

$$A_m = 1000 \cdot \frac{k \cdot \Delta_m}{E_m}$$

Per le molle di estremità, in corrispondenza della linea di fondo scavo ed in corrispondenza dell'estremità inferiore della paratia, si assume una area equivalente dimezzata. Inoltre, tutte le molle hanno, ovviamente, rigidità flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidità di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidità degli elementi della paratia (elementi a rigidità flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidità dei tiranti (solo rigidità assiale) e delle molle (rigidità assiale).

L'interazione terreno-struttura viene analizzata assegnando al terreno un comportamento di tipo elasto-plastico perfetto, assumendo che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero.

Per quanto concerne il criterio di plasticizzazione delle molle (terreno) si può fare riferimento ad:

- criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore X_{max} ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti
- criterio di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione p_{max} . Tale pressione p_{max} può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla.

Un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale (K matrice di rigidità, u vettore degli spostamenti nodali, p vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle.

Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidità è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassetto e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (metodo di Riks).

Senza addentrarci troppo nei dettagli diremo che si tratta di un metodo di Newton-Raphson modificato e ottimizzato. L'analisi condotta secondo questa tecnica offre dei vantaggi immediati. Essa restituisce l'effettiva deformazione della paratia e le relative sollecitazioni; dà informazioni dettagliate circa la deformazione e la pressione sul terreno. Infatti la deformazione è direttamente leggibile, mentre la pressione sarà data dallo sforzo nella molla diviso per l'area di influenza della molla stessa. Sappiamo quindi quale è la zona di terreno effettivamente plasticizzato. Inoltre dalle deformazioni ci si può rendere conto di un possibile meccanismo di rottura del terreno.

L'analisi della paratia viene condotta per fasi di scavo. Questo consente di ottenere informazioni dettagliate sullo stato di sollecitazione e deformazione dell'opera durante la fase di realizzazione. In ogni fase lo stato di sollecitazione e di deformazione dipende dalla 'storia' dello scavo (soprattutto nel caso di paratie tirantate o vincolate).

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente.

L'angolo di attrito terreno/struttura, δ , è stato assunto pari a 2/3 della resistenza al taglio del terreno naturale. I coefficienti di spinta attiva e passiva sono stati calcolati, rispettivamente, con le espressioni di Coulomb e Caquot-Kerisel.

Per la verifica agli stati limite in condizioni sismiche si è adottato il metodo pseudostatico, calcolando i coefficienti sismici orizzontale e verticale come indicato al paragrafo § 7.11.6.3.1 delle NTC2018

$$k_h = \alpha \cdot \beta \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right)$$
$$k_v = 0$$

dove:

- a_{max} è l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito,
- β è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima ricavato in funzione del massimo spostamento post-sismico, u_s (per $u_s=0$ si ha $\beta=1$). Dovendo risultare $u_s \leq 0.005 \cdot H$, con H = altezza totale della paratia.

7 ANALISI E VERIFICA DELLA PARATIA – SEZ. TIPO “A”

7.1 DATI DI INPUT

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi condotte; per l’opera in oggetto sono stati analizzati due diversi modelli, uno in fase statica per il quale la massima altezza è pari all’altezza di scavo $H_{scavo} = H_{paratia} + 0.60m$, ed uno in fase sismica per il quale l’altezza considerata in concomitanza dell’evento sismico è pari all’altezza “definitiva” della paratia, $H_{paratia}$.

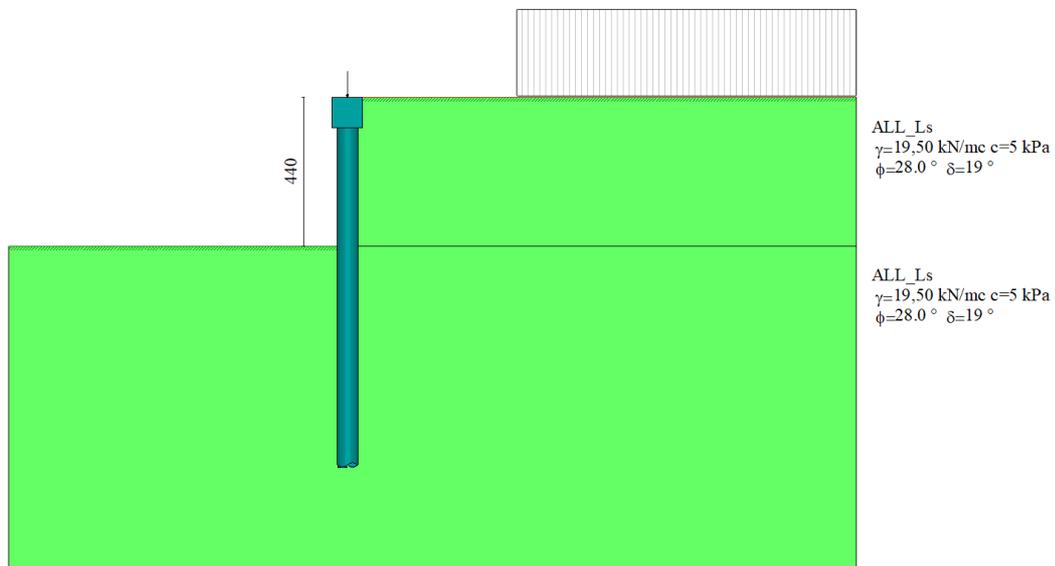


Figura 5 – Modello di calcolo-step finale di calcolo

Geometria paratia

Tipo paratia:	Paratia di pali	
Altezza fuori terra	4,40 (Static); 3,80 (Sismic)	[m]
Profondità di infissione	6,50 (Static); 7,10 (Sismic)	[m]
Altezza totale della paratia	10,90	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	0,80	[m]
Diametro dei pali	60,00	[cm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata

n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm³]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm ³]
1	0,00	Calcestruzzo	90,00	90,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	15,00	0,00	0,00

Profilo di valle - Fase n° 1

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-0,90	--
2	0,00	-0,90	0,00

Profilo di valle - Fase n° 2

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-4,40 (Static) -3,80 (Sismic)	--
2	0,00	-4,40 (Static) -3,80 (Sismic)	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine
Descrizione Descrizione del terreno
 γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
 γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso in [kN/mc]
 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c coesione del terreno espressa in [kPa]
ca adesione terreno/paratia espressa in [kPa]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
 τ_1 tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kPa]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca	Cesp	τ_1	
		[kN/mc]	[kN/mc]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]		[kPa]	
1	ALL_Ls	19,500	19,500	28,00	18,66	5,0	0,0	1,00	0,0	CAR
				28,00	18,66	5,0	0,0		0,0	MIN
				28,00	18,66	5,0	0,0		0,0	MED

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°) (M: strato di monte V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte V: strato di valle)

N°	sp [m]	a _M [°]	a _V [°]	K _{wM} [kg/cmq/cm]	K _{wV} [kg/cmq/cm]	Terreno M	Terreno V
1	4,40 (Static)	0.00	0.00	0.86 (Static)	0.86 (Static)	ALL_Ls	ALL_Ls
	3,80 (Sismic)			0.76 (Sismic)	0.76 (Sismic)		
2	9,60 (Static)	0.00	0.00	3.09 (Static)	3.09 (Static)	ALL_Ls	ALL_Ls
	10,20 (Sismic)			3.00 (Sismic)	3.00 (Sismic)		

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

γ _{cls}	Peso specifico cls, espresso in [kN/mc]
Classe cls	Classe di appartenenza del calcestruzzo
Rck	Rigidità cubica caratteristica, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
Acciaio	Tipo di acciaio
n	Coeff. di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo

Descrizione	γ _{cls} [kN/mc]	Classe cls	Rck [kPa]	E [kPa]	Acciaio	n
Paratia	25,00	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00
Cordolo/Muro	25,00	C32/40	40000	33642648	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (17/01/2018)**

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

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ _{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	γ _{Gfav}	0.80	0.80	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ _{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ _{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ _{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ _{Qsfav}	1.35	1.15	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	γ _{tanφ}	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ _c	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ _{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ _{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ _γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica materiali : Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Verifica Taglio

Sezione in c.a.

$$V_{Rsd} = 0.9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yk} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \text{ sen } \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d b_w \alpha_c v f_{cd} \frac{\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta}{1 + \text{ctg}^2 \theta}$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b _w	larghezza minima sezione [mm]
A _{sw}	area armatura trasversale [mmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α _c	coefficiente maggiorativo, funzione di f _{cd} e σ _{cp}
σ _{cp}	tensione media di compressione [N/mmq]
v=0.5	

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali	Aggressive
Armatura ad aderenza migliorata	
Sensibilità delle armature	Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure	w ₁ = 0.20 w ₂ = 0.30 w ₃ = 0.40
Metodo di calcolo aperture delle fessure	NTC 2018 - C4.1.2.2.4.5
Calcolo momento fessurazione	Formazione
Resistenza a trazione per	Trazione

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico	Rara	σ _c < 0.60 f _{ck} - σ _t < 0.80 f _{yk}
	Quasi permanente	σ _c < 0.45 f _{ck}
	Frequente	σ _c < 1.00 f _{ck} - σ _f < 1.00 f _{yk}

Impostazioni copriferro

Copriferro (ricoprimento staffa)	7,50 [cm]
----------------------------------	-----------

Impostazioni di analisi

Analisi per Fasi di Scavo.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Impostazioni analisi per fasi di scavo:

Analisi per condizioni di esercizio
Analisi per coefficienti tipo A1-M1
Analisi per coefficienti tipo A2-M2

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia):

Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale:

Metodo di Fellenius

Maglia dei centri
Resistenza a taglio paratia

Passo maglia **Automatica**
 V_{Ra}

Opzioni calcolo portanza

Portanza verticale

Metodo di calcolo della portanza alla punta
Metodo di calcolo della portanza alla laterale

Berezantzev
Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)

Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo
(in fisso/trivellato)

Attiva

Tecnologia costruttiva:
Contributo portanza palo:

Trivellato
Laterale + Punta

Impostazioni analisi sismica

Identificazione del sito

Latitudine 43.074814
Longitudine 13.483756
Comune Servigliano
Provincia Fermo
Regione Marche

Punti di interpolazione del reticolo 23199 - 23198 - 23420 - 23421

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria
Vita nominale 50 anni
Classe d'uso IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
Vita di riferimento 100 anni

Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo [m/s^2]	2.205	0.934
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.485	2.439
Valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione T_c^* [sec]	0.346	0.315
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	B	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.177	1.200
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.054	0.054
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.601	0.601
Prodotto $\alpha \beta$	0.601 > 0.2	0.601 > 0.2
Coefficiente di intensità sismica [%]	15.888	6.859
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	
Coefficiente di riduzione (β_s)	0.380	0.470
Coefficiente di intensità sismica nella verifica di stabilità [%]	10.051	5.367

Inerzia massa strutturale **Considerata**
Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico: Rettangolare

7.1.1 Risultati delle analisi – MODELLO "STATIC"

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi in condizioni statiche, che si è articolata nelle seguenti fasi:

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

I_g Indice di gruppo
F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q_s, Q_t Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
V_s, V_v Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1 - Permanente non strutturale - Peso proprio recinzione

Carico concentrato sulla paratia	Y=0,00	F _x =0,00	F _y =1,50	M=0,00
----------------------------------	--------	----------------------	----------------------	--------

Condizione n° 2 - Permanente non strutturale - Sovraccarico edificio esistente

Carico distribuito sul profilo	X _i = 5,00	X _r = 15,00	Q _i = 25,00	Q _r = 25,00
--------------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Fasi di scavo

Simbologia adottata

n° identificativo della fase nell'elenco definito
Fase Descrizione dell'i-esima fase
Tempo Tempo in cui avviene la fase di scavo

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0
2	Inserimento condizione di carico nr 2 [Hscavo=0.90]	0
3	Scavo fino alla profondità di 4.40 metri	1
4	Inserimento condizione di carico nr 1 [Hscavo=4.40]	2

N	OPERAZIONE	T	ESE	A1-M1	A2-M2
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0	SI	SI	SI
2	Inserimento condizione di carico nr 2 [Hscavo=0.90]	0	SI	SI	SI
3	Scavo fino alla profondità di 4.40 metri	1	SI	SI	SI
4	Inserimento condizione di carico nr 1 [Hscavo=4.40]	2	SI	SI	SI

Le fasi sopra elencate verranno analizzate in condizioni di:

Esercizio : Attive
Con coeff. tipo A1-M1 : Attive
Con coeff. tipo A2-M2 : Attive

Numero fasi di calcolo da analizzare 9 Help

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per fasi di scavo

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 88 elementi fuori terra e 130 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incrementi di carico.

Altezza fuori terra della paratia	4,40	[m]
Profondità di infissione	6,50	[m]
Altezza totale della paratia	10,90	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	ESE	0,00	0,00	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	37,16	3,23	--	--	--	--	-61,14	5,78	23,98	9,74
3	ESE	37,16	3,23	--	--	--	--	-61,15	5,78	23,99	9,74
1	SLU - STR	0,20	0,83	--	--	--	--	-0,26	2,64	0,06	8,48
2	SLU - STR	54,78	3,18	--	--	--	--	-94,12	5,95	39,34	9,81
3	SLU - STR	54,78	3,18	--	--	--	--	-94,13	5,95	39,35	9,81
1	SLU - GEO	0,28	0,80	--	--	--	--	-0,37	2,63	0,09	8,47
2	SLU - GEO	55,29	3,22	--	--	--	--	-109,82	6,62	54,53	10,06
3	SLU - GEO	55,29	3,22	--	--	--	--	-109,85	6,62	54,55	10,06

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]

n°	Tipo	P _{NULL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]
1	ESE	0,90	0,90	-9,10	0,00	100,00
2	ESE	4,48	5,40	7,81	15,27	4,57
3	ESE	4,48	5,40	7,81	15,27	4,57
1	SLU - STR	0,90	0,90	6,05	0,00	0,01
2	SLU - STR	4,59	5,65	7,93	19,08	5,75
3	SLU - STR	4,59	5,65	7,93	19,08	5,75
1	SLU - GEO	0,90	0,90	6,04	0,00	0,02
2	SLU - GEO	4,82	6,75	8,50	35,88	12,90
3	SLU - GEO	4,82	6,75	8,50	35,88	12,90

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M [kNm]	Y _M [m]	T [kN]	Y _T [m]	N [kN]	Y _N [m]	
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	MIN
2	ESE	78,64	5,90	37,16	4,45	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,90	-23,98	7,80	0,00	0,00	MIN
3	ESE	78,66	5,90	37,16	4,45	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-23,99	7,80	0,00	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,23	3,70	0,19	0,90	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,70	-0,06	6,05	0,00	0,00	MIN
2	SLU - STR	126,46	6,00	54,78	4,55	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,70	-39,34	7,90	0,00	0,00	MIN
3	SLU - STR	126,48	6,00	54,79	4,55	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-39,35	7,90	0,00	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,34	3,65	0,28	0,90	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,60	-0,09	6,00	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	154,63	6,65	55,29	4,80	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,60	-54,53	8,50	0,00	0,00	MIN
3	SLU - GEO	154,67	6,65	55,29	4,80	97,81	10,90	MAX
		0,00	10,90	-54,55	8,50	0,00	0,00	MIN

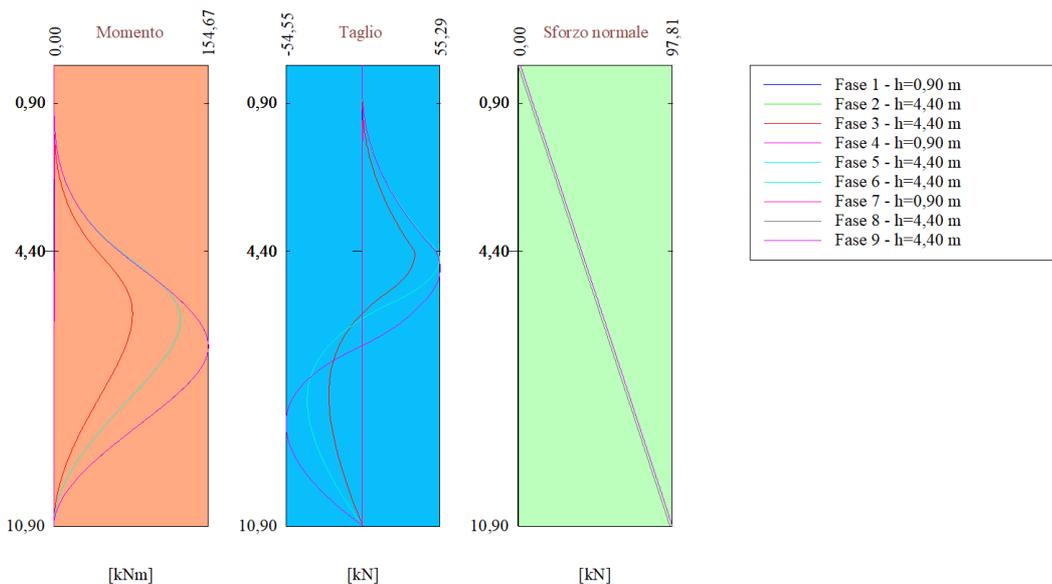


Figura 6 – Involuppo delle sollecitazioni per metro lineare

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	ESE	0,0000	0,00	0,0046	0,00	MAX
		0,0000	0,00	0,0000	0,00	MIN
2	ESE	0,8067	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0417	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	ESE	0,8068	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0417	10,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,0018	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0001	8,00	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - STR	1,3494	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0734	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - STR	1,3497	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0734	10,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,0026	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0001	8,00	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	2,0397	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,1392	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - GEO	2,0403	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,1393	10,90	0,0000	0,00	MIN

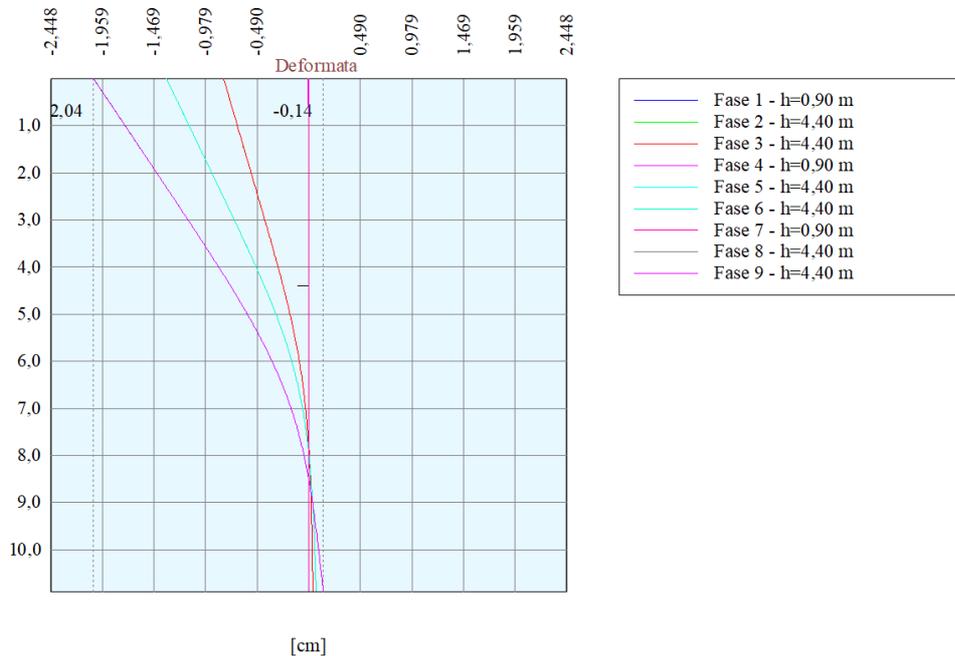


Figura 7 – Involuppo deformato – model Static

7.1.2 Risultati delle analisi – MODELLO "SISMIC"

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi in condizioni statiche, che si è articolata nelle seguenti fasi:

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

Ig	Indice di gruppo
F _x	Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F _y	Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q _s , Q _r	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
V _s , V _s	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Condizione n° 1 - Permanente non strutturale - Peso proprio recinzione

Carico concentrato sulla paratia	Y=0,00	F _x =0,00	F _y =1,50	M=0,00
----------------------------------	--------	----------------------	----------------------	--------

Condizione n° 2 - Permanente non strutturale - Sovraccarico edificio esistente

Carico distribuito sul profilo	X _i = 5,00	X _r = 15,00	Q _i = 25,00	Q _r = 25,00
--------------------------------	-----------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Fasi di scavo

Simbologia adottata

n°	identificativo della fase nell'elenco definito
Fase	Descrizione dell'i-esima fase
Tempo	Tempo in cui avviene la fase di scavo

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0
2	Inserimento condizione di carico nr 2 [Hscavo=0.90]	0
3	Scavo fino alla profondità di 3.80 metri	1
4	Inserimento condizione di carico nr 1 [Hscavo=3.80]	2
5	Inserimento sisma	3

N	OPERAZIONE	T	ESE	A1-M1	A2-M2
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0	SI	SI	SI
2	Inserimento condizione di carico nr 2 [Hscavo=0.90]	0	SI	SI	SI
3	Scavo fino alla profondità di 3.80 metri	1	SI	SI	SI
4	Inserimento condizione di carico nr 1 [Hscavo=3.80]	2	SI	SI	SI
5	Inserimento sisma	3	SI	SI	SI

Le fasi sopra elencate verranno analizzate in condizioni di:

Esercizio : **Active**

Con coeff. tipo A1-M1 : **Active**

Con coeff. tipo A2-M2 : **Active**

Numero fasi di calcolo da analizzare 12

Help

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per fasi di scavo

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 76 elementi fuori terra e 142 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incrementi di carico.

Altezza fuori terra della paratia	3,80	[m]
Profondità di infissione	7,10	[m]
Altezza totale della paratia	10,90	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	ESE	0,00	0,00	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	25,52	2,82	--	--	--	--	-38,12	4,98	12,60	9,36
3	ESE	25,52	2,82	--	--	--	--	-38,12	4,98	12,61	9,36
4	ESE	31,69	3,38	5,60	1,90	--	--	-53,99	5,09	16,69	9,41
1	SLU - STR	0,20	0,83	--	--	--	--	-0,27	2,77	0,07	8,31
2	SLU - STR	38,23	2,77	--	--	--	--	-59,25	5,13	21,03	9,42
3	SLU - STR	38,23	2,77	--	--	--	--	-59,26	5,13	21,03	9,42
4	SLV - STR	39,81	3,86	14,95	1,90	--	--	-79,57	5,25	24,81	9,50
1	SLU - GEO	0,28	0,80	--	--	--	--	-0,38	2,76	0,10	8,29
2	SLU - GEO	38,42	2,79	--	--	--	--	-64,10	5,53	25,69	9,62
3	SLU - GEO	38,42	2,79	--	--	--	--	-64,11	5,53	25,69	9,62
4	SLV - GEO	51,76	3,65	17,35	1,90	--	--	-116,35	5,89	47,24	9,82

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni degli ancoraggi (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLV - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLV - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicitare, espresso in [%]

n°	Tipo	P _{NUL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]
1	ESE	0,90	0,90	-9,10	0,00	100,00
2	ESE	3,81	4,40	7,14	8,39	2,32
3	ESE	3,81	4,40	7,14	8,39	2,32
4	ESE	3,84	4,60	7,26	11,19	3,31
1	SLU - STR	0,90	0,90	5,85	0,00	0,01
2	SLU - STR	3,92	4,60	7,24	11,89	2,95
3	SLU - STR	3,92	4,60	7,24	11,89	2,95
4	SLV - STR	3,89	4,90	7,41	15,38	4,99
1	SLU - GEO	0,90	0,90	5,83	0,00	0,02
2	SLU - GEO	4,10	5,25	7,57	20,28	5,52
3	SLU - GEO	4,10	5,25	7,57	20,28	5,52
4	SLV - GEO	4,19	5,95	7,96	30,77	10,74

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M [kNm]	Y _M [m]	T [kN]	Y _T [m]	N [kN]	Y _N [m]	
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	MIN
2	ESE	44,98	5,20	25,52	3,80	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,90	-12,60	7,10	0,00	0,00	MIN
3	ESE	44,99	5,20	25,52	3,80	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-12,61	7,10	0,00	0,00	MIN
4	ESE	67,43	5,25	32,99	3,85	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-18,94	7,15	0,00	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,26	3,95	0,20	0,90	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,00	-0,07	5,80	0,00	0,00	MIN
2	SLU - STR	74,40	5,30	38,23	3,90	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,70	-21,03	7,20	0,00	0,00	MIN
3	SLU - STR	74,41	5,30	38,23	3,90	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-21,03	7,20	0,00	0,00	MIN
4	SLV - STR	105,23	5,30	44,90	3,90	97,81	10,90	MAX
		0,00	10,90	-29,85	7,25	0,00	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,38	3,95	0,28	0,90	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,00	-0,10	5,80	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	87,53	5,60	38,42	4,05	96,31	10,90	MAX
		0,00	0,60	-25,69	7,55	0,00	0,00	MIN
3	SLU - GEO	87,54	5,60	38,42	4,05	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-25,69	7,55	0,00	0,00	MIN
4	SLV - GEO	167,36	5,95	59,69	4,20	97,81	10,90	MAX
		0,00	0,00	-51,45	7,85	0,00	0,00	MIN

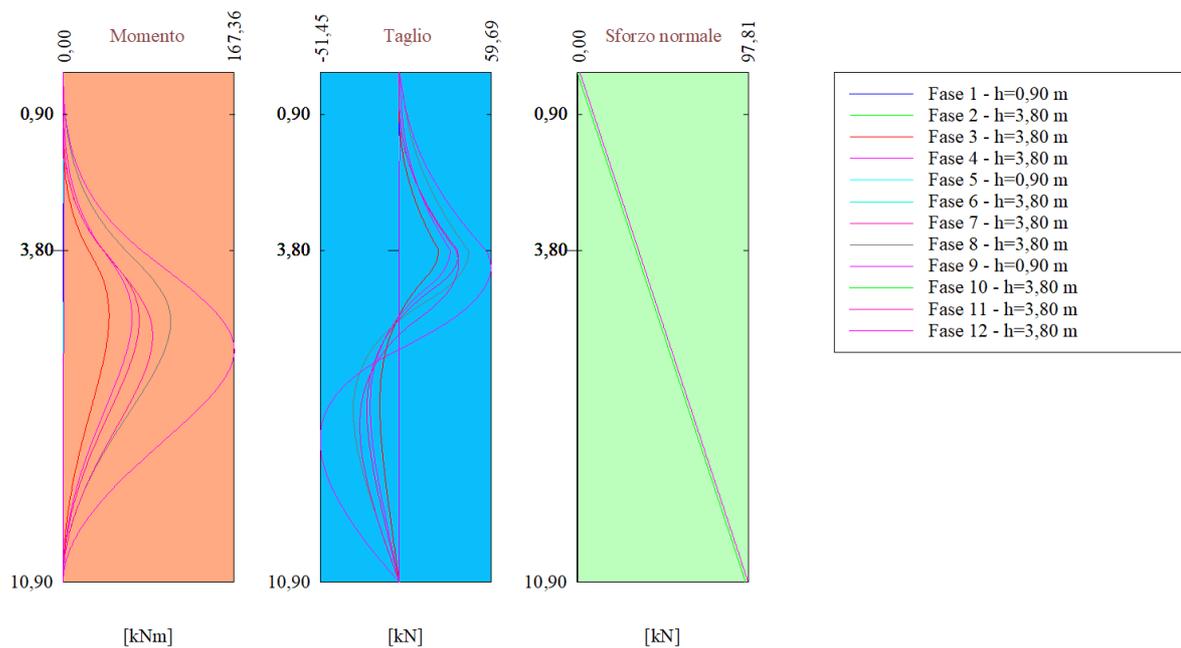


Figura 8 – Involuppo delle sollecitazioni per metro lineare

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase
 Tipo Tipo della combinazione/fase
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
 U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
 V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	ESE	0,0000	0,00	0,0046	0,00	MAX
		0,0000	0,00	0,0000	0,00	MIN
2	ESE	0,3961	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0148	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	ESE	0,3962	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0148	10,90	0,0000	0,00	MIN
4	ESE	0,6085	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0205	10,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,0019	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0001	7,80	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - STR	0,6726	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0264	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - STR	0,6727	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0264	10,90	0,0000	0,00	MIN
4	SLV - STR	0,9867	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0333	10,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,0027	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0001	7,80	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,8631	0,00	0,0046	0,00	MAX
		-0,0402	10,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - GEO	0,8632	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0402	10,90	0,0000	0,00	MIN
4	SLV - GEO	1,8549	0,00	0,0047	0,00	MAX
		-0,0919	10,90	0,0000	0,00	MIN

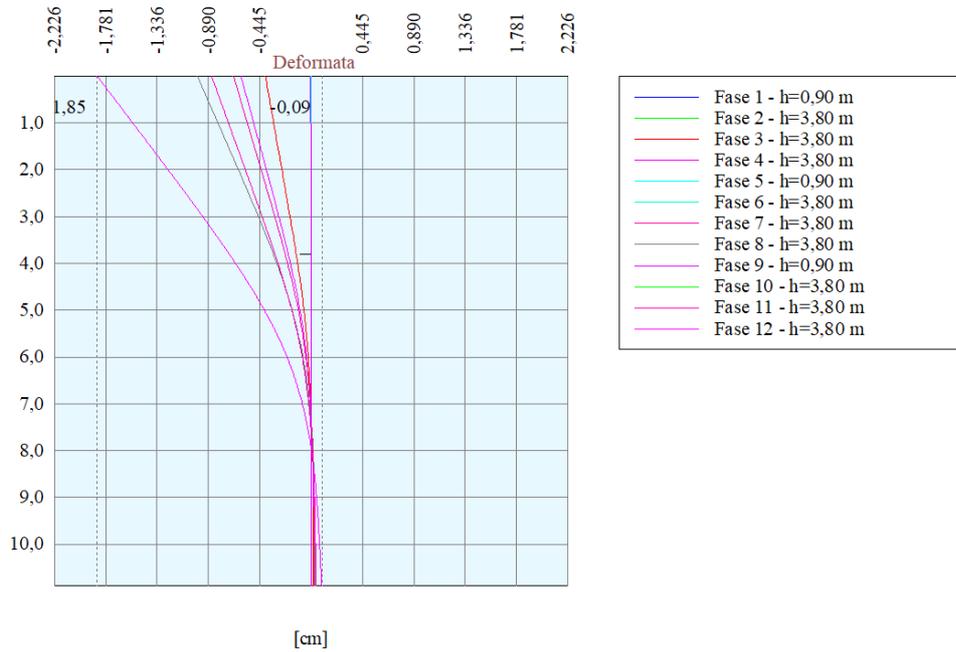


Figura 9 – Inviluppo deformata – model Sismic

7.2 VERIFICHE SLU - GEO

7.2.1 Collasso per rotazione

La verifica è implicitamente soddisfatta dall'avvenuta convergenza del programma di calcolo. La spinta passiva mobilitata a valle è < 100%.

7.2.2 Verifica del complesso opera-terreno

Si riportano nella tabella seguente i coefficienti di sicurezza minimi tra tutte le combinazioni analizzate:

STABILITA' GLOBALE	
	F _s
Model Static	2.10
Model Sismic	2.25

Come richiesto da normativa il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale si mantiene sempre $\geq 1,1$.

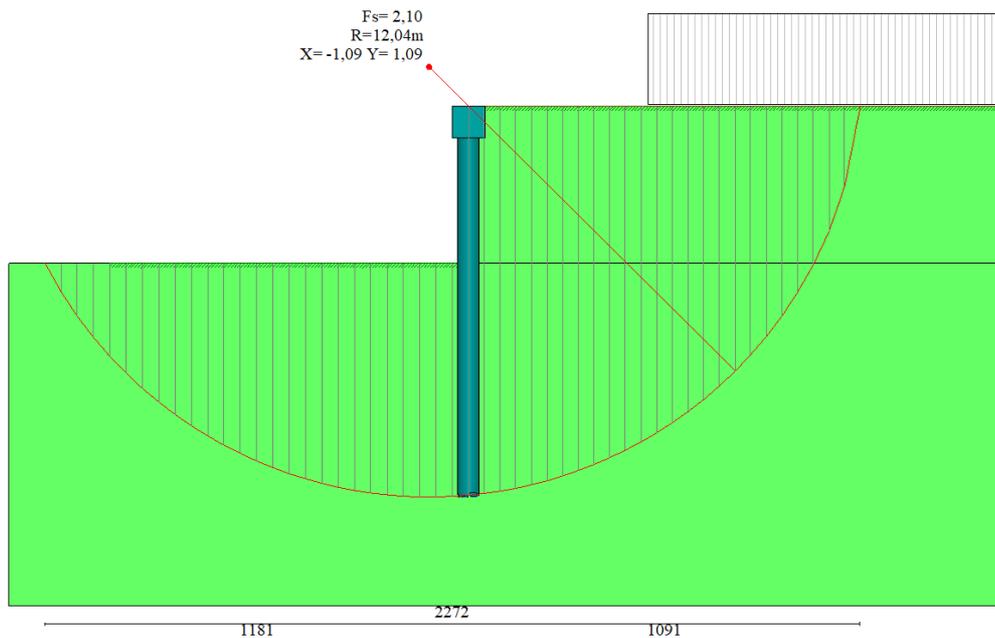


Figura 10 – Risultati analisi di stabilità globale (Model Static)

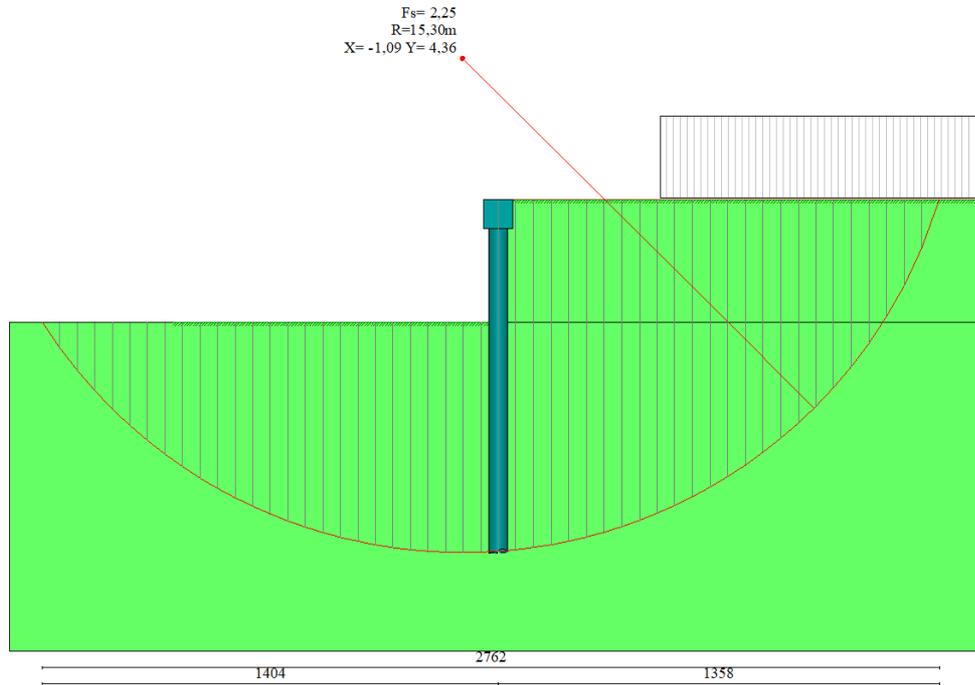


Figura 11 – Risultati analisi di stabilità globale (Model Sismic)

Si riportano nel seguito i dettagli relativi alla verifica di stabilità nella condizione più gravosa.

Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] ($L=b/\cos\alpha$)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Fase n° 2 - SLU - GEO

Numero di strisce 51

Caratteristiche delle strisce

N°	Wi [kN]	α [°]	L [m]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	(Ctn; Ctt) [kN]
1	3,4296	-60.76	0,93	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
2	10,0763	-56.58	0,83	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
3	15,7819	-52.83	0,75	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
4	20,7835	-49.38	0,70	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
5	25,2262	-46.15	0,66	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
6	29,2068	-43.11	0,62	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
7	32,7936	-40.21	0,60	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
8	36,0370	-37.44	0,57	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
9	38,9752	-34.76	0,55	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
10	41,6382	-32.16	0,54	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
11	44,0499	-29.64	0,52	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
12	46,2295	-27.18	0,51	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
13	48,1926	-24.78	0,50	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
14	49,9522	-22.42	0,49	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
15	51,5192	-20.09	0,48	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
16	52,9024	-17.81	0,48	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
17	54,1092	-15.55	0,47	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
18	55,1459	-13.32	0,47	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
19	56,0175	-11.10	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
20	56,7280	-8.91	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
21	57,2808	-6.72	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
22	57,6783	-4.55	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
23	57,9223	-2.38	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
24	58,0137	-0.22	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
25	57,9531	1.94	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
26	57,7401	4.11	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
27	92,5491	6.24	0,44	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
28	92,0742	8.33	0,44	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
29	91,4602	10.44	0,44	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
30	90,7045	12.56	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
31	89,8040	14.70	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
32	88,7546	16.85	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
33	87,5515	19.04	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
34	86,1888	21.25	0,47	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
35	84,6595	23.50	0,48	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
36	82,9555	25.78	0,48	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
37	81,0668	28.11	0,49	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
38	84,8947	30.50	0,51	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
39	87,5945	32.94	0,52	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
40	85,0697	35.45	0,54	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
41	82,2950	38.04	0,55	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
42	79,2433	40.73	0,58	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
43	75,8804	43.54	0,60	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
44	72,1615	46.48	0,63	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
45	68,0261	49.59	0,67	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
46	63,3899	52.91	0,72	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
47	58,1275	56.51	0,79	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
48	52,0385	60.51	0,89	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
49	44,7598	65.08	1,04	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
50	35,4655	70.69	1,32	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
51	20,5385	79.09	2,30	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia = 0,0000 [kN]
 $\Sigma W_i = 2992,6368$ [kN]
 $\Sigma W_i \sin \alpha_i = 577,4863$ [kN]
 $\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 1089,3843$ [kN]
 $\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 124,1862$ [kN]

7.3 VERIFICHE SLU - STR

7.3.1 Verifiche strutturali pali in c.a.

Caratteristiche della sezione:

Palo: Diametro = 60,0 cm

Armatura longitudinale $A_s = 10\phi 20 = 31.42 \text{ cm}^2$

Spirale $A_{st} = \phi 14/20$

Nel seguito il dettaglio delle verifiche armatura paratie (Inviluppo sezioni critiche)

➤ Modello Static

Per le sollecitazioni di calcolo adottate nelle verifiche strutturali di seguito riportate, si rimanda al paragrafo "Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia" ed in particolare alla figura 6 che rappresenta l'inviluppo delle sollecitazioni.

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A _f	area di armatura del palo espressa in [cmq]
A _n , A _{fs}	Area ferri lato valle e monte nel muro, espresse in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
M _u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N _u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y	A _f	M	N	Mu	Nu	FS
	[m]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
2 - SLU - GEO	6,65	31,42	123,71	47,01	261,02	99,18	2.110

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} /V _{Ed})
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 51.21 cm

n° - Tipo	Y	A _{sw}	s	V _{Ed}	V _{Rd}	FS	cotgθ
	[m]	[cmq]	[cm]	[kN]	[kN]		
2 - SLU - GEO	4,80	3,08	20,00	44,23	583,63	13.196	2,46

➤ Modello Sismic

Per le sollecitazioni di calcolo adottate nelle verifiche strutturali di seguito riportate, si rimanda al paragrafo "Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia" ed in particolare alla figura 8 che rappresenta l'inviluppo delle sollecitazioni.

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A _r	area di armatura del palo espressa in [cmq]
A _{ri} , A _{rs}	Area ferri lato valle e monte nel muro, espresse in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
M _u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N _u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
Fs	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y [m]	A _r [cmq]	M [kNm]	N [kN]	M _u [kNm]	N _u [kN]	FS
4 - SLV - GEO	5,90	31,42	133,85	42,90	258,78	82,95	1.933

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} / V _{Ed})
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 51.21 cm

n° - Tipo	Y [m]	A _{sw} [cmq]	s [cm]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS	cotgθ
4 - SLV - GEO	4,20	3,08	20,00	47,75	583,34	12.216	2,46

7.3.2 Verifiche strutturali cordoli in c.a.

Caratteristiche della sezione:

Sezione rettangolare 90x90 cm

Armatura longitudinale sup./ inf. $A_s = 5+5\phi16 = 10.05 + 10.05 \text{ cm}^2$

Armatura longitudinale di parete $A_s = 3+3\phi16 = 6.03 + 6.03 \text{ cm}^2$

Staffe $A_{st} = \phi14/20$

Nel seguito il dettaglio delle verifiche armatura paratie (Inviluppo sezioni critiche)

➤ Modello Static

Simbologia adottata

M _h	momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
T _h	taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
M _v	momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
T _v	taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

B=90,00 [cm]	H=90,00 [cm]		
A _{ri} =10,05 [cmq]	A _{rs} =6,03 [cmq]	Staffe $\phi14/20$	Nbh=2 - Nbv=2
M _{ih} =35,38 [kNm]	M _{uh} =316,75 [kNm]	FS=8.95	
T _{ih} =44,23 [kN]	T _{rh} =1158,80 [kN]	FS _r =26.20	cotgθh=2.50
M _{iv} =6,48 [kNm]	M _{uv} =316,75 [kNm]	FS=48.88	
T _{iv} =16,20 [kN]	T _r =1158,80 [kN]	FS _{rv} =71.53	cotgθv=2.50

➤ Modello Sismic

Simbologia adottata

M_h	momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
T_h	taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
M_v	momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
T_v	taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

B=90,00 [cm]	H=90,00 [cm]		
A_{fv} =10,05 [cmq]	A_{th} =6,03 [cmq]	Staffe ϕ 14/20	Nbh=2 - Nbv=2
M_{ih} =44,23 [kNm]	M_{uh} =316,75 [kNm]	FS=7.16	
T_h =55,29 [kN]	T_{Rh} =1158,80 [kN]	FS _r =20.96	cotg θ h=2.50
M_v =6,48 [kNm]	M_{uv} =316,75 [kNm]	FS=48.88	
T_v =16,20 [kN]	T_R =1158,80 [kN]	FS _{rv} =71.53	cotg θ v=2.50

7.4 VERIFICHE SLE

7.4.1 Verifiche strutturali

➤ Modello Static

Verifica tensioni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura espressa in [cmq]
σ_c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ_r	tensione nell'acciaio espressa in [kPa]

A_f	σ_c	cmb	σ_r	cmb
[cmq]	[kPa]		[kPa]	
31,42	5202	2	121862	2

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto	Muro/Paratia
Y	Ordinata sezione, espresso in [m]
M	Momento agente, espresso in [kNm]
M_f	Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
s	Distanza media tra le fessure, espressa in [mm]
ϵ_{sm}	Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
w_{lim}	Apertura limite fessure, espressa in [mm]
w_k	Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y	M	M_f	s	ϵ_{sm}	w_{lim}	w_k
		[m]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]
Paratia	2 - ESE	5,80	62,84	59,97	324,035	0,0355	0,200	0,196

➤ Modello Sismic

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura espressa in [cmq]
σ_c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ_r	tensione nell'acciaio espressa in [kPa]

A_f	σ_c	cmb	σ_r	cmb
[cmq]	[kPa]		[kPa]	
31,42	4457	4	103603	4

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto	Muro/Paratia
Y	Ordinata sezione, espresso in [m]
M	Momento agente, espresso in [kNm]
M_f	Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
s	Distanza media tra le fessure, espresso in [mm]
ϵ_{sm}	Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
w_{lim}	Apertura limite fessure, espressa in [mm]
w_k	Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	M_f [kNm]	s [mm]	ϵ_{sm} [%]	w_{lim} [mm]	w_k [mm]
Paratia	4 - ESE	5,25	53,95	59,77	0,000	0,0000	0,200	0,000

7.4.2 Verifica spostamenti

Si riportano di seguito le deformate, in condizioni di ESE:

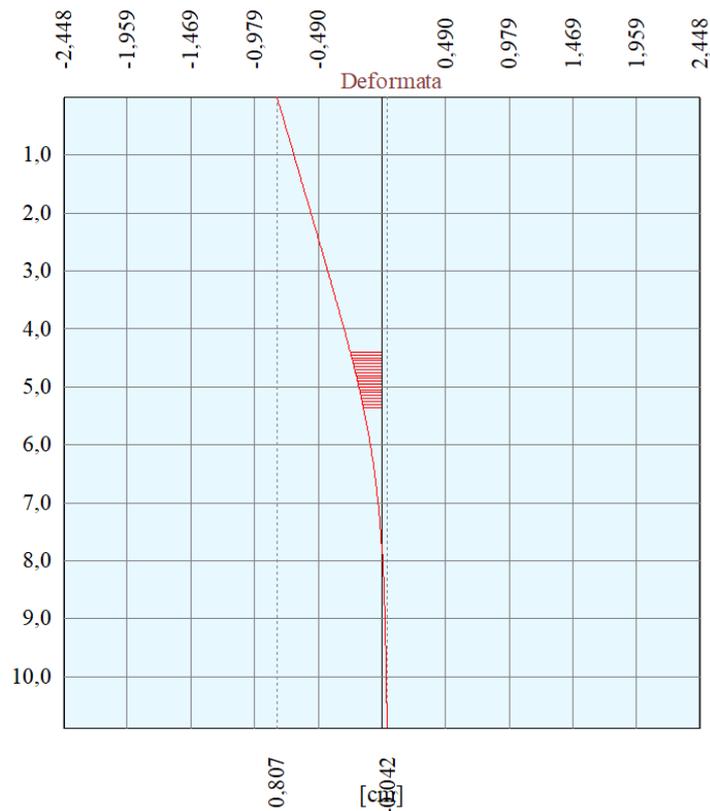


Figura 12 – Spost. orizz. max \approx 0.81 cm - cond ESE

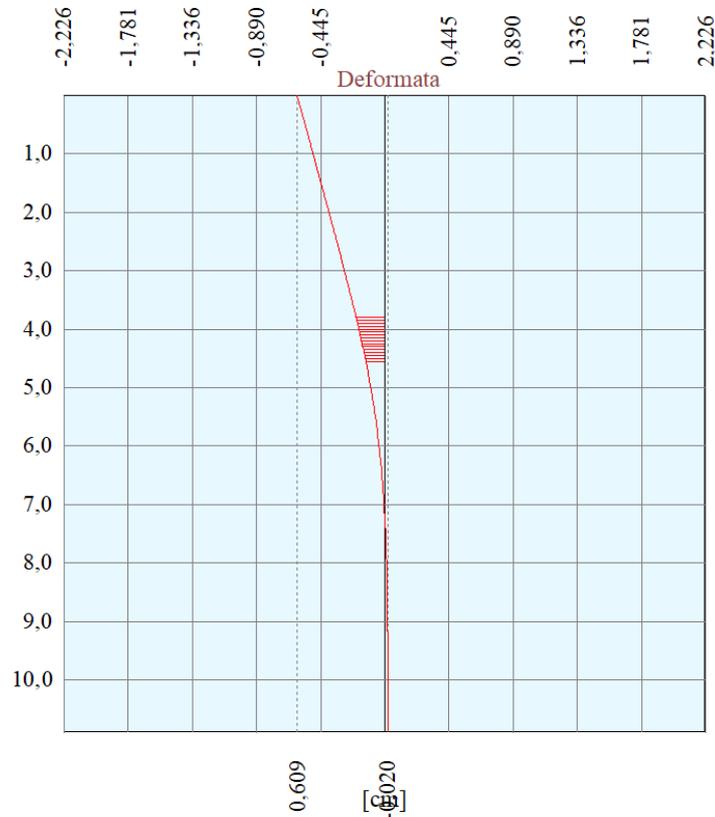


Figura 13 – Spost. orizz. max \approx 0.61 cm - cond ESE S

I valori risultano compatibili con le limitazioni fornite da formulazioni di comprovata validità, di cui si riportano in seguito le massime deformazioni accettabili per paratie semplicemente infisse (equiparabili a muri di sostegno):

Tabella 3-1 : Da Transit New Zealand (2003) – <i>Bridge Manual</i>			
Destinazione d'uso o ubicazione della parete	Tipologia di parete	Massima deformazione accettabile	Coefficiente r' consigliato
Spalla di un ponte	qualsiasi	minima	1
Muro che sostiene un rilevato sul cui gravano, ad una distanza non superiore a due volte l'altezza della parete, fondazioni di altre strutture	qualsiasi	minima	1
Muri di sostegno di rilevati stradali per strade di grande traffico	pareti rigide	100 mm	zona I 1.5 zona II 1.5+2 zona III 2 zona IV 2
	pareti flessibili e duttili	150 mm	2
Muri di sostegno di rilevati stradali per strade di traffico modesto	pareti rigide	100 mm	zona I 1.5 zona II 1.5+2 zona III 2 zona IV 2
	pareti flessibili e duttili	200 mm	2

Nel caso pareti ancorate si può anche fare riferimento alle indicazioni che riporta Kramer (1996), da cui è ricavata la Tabella 3-3 che propone una relazione, elaborata su 75 casi reali, tra il livello di danno subito e la massima deformazione permanente conseguente ad una sollecitazione sismica.

Tabella 3-3: da Kramer (1996) – Descrizione qualitativa e quantitativa del livello di danneggiamento osservato su pareti ancorate, dopo eventi sismici.

Livello di Danneggiamento	Descrizione del danno	Spostamento laterale permanente in testa alla paratia (cm)
0	Nessun danno apprezzabile	< 2
1	Danni trascurabili nella parete in quanto tale, danni apprezzabili nelle opere interferenti	2-10
2	Danneggiamento apprezzabile nella parete	10-30
3	Danno diffuso e rilevante nella parete che comunque mantiene la propria configurazione	30-60
4	Crollo	>60

Gli spostamenti massimi ottenuti in condizioni di esercizio, si ritengono compatibili con la funzionalità dell'opera ($\approx 8 \text{ mm} \ll 200 \text{ mm}$).

8 ANALISI E VERIFICA DELLA PARATIA – SEZ. TIPO “B”

8.1 DATI DI INPUT

Sono di seguito descritte le principali caratteristiche della struttura e del modello geotecnico per le analisi condotte; per l’opera in oggetto sono stati analizzati due diversi modelli, uno in fase statica per il quale la massima altezza è pari all’altezza di scavo $H_{scavo} = H_{paratia} + 0.60m$, ed uno in fase sismica per il quale l’altezza considerata in concomitanza dell’evento sismico è pari all’altezza “definitiva” della paratia, $H_{paratia}$.

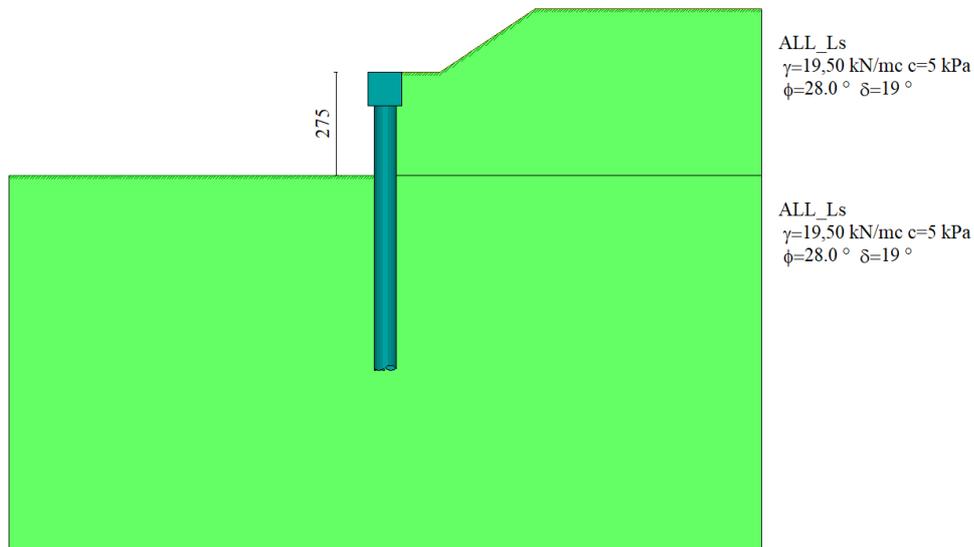


Figura 14 – Modello di calcolo-step finale di calcolo

Geometria paratia

Tipo paratia:	Paratia di pali	
Altezza fuori terra	2,75 (Static); 2,15 (Sismic)	[m]
Profondità di infissione	5,15 (Static); 5,75 (Sismic)	[m]
Altezza totale della paratia	7,90	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	0,80	[m]
Diametro dei pali	60,00	[cm]

Geometria cordoli

Simbologia adottata

n° numero d'ordine del cordolo
Y posizione del cordolo sull'asse della paratia espresso in [m]

Cordoli in calcestruzzo

B Base della sezione del cordolo espresso in [cm]
H Altezza della sezione del cordolo espresso in [cm]

Cordoli in acciaio

A Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm³]

N°	Y [m]	Tipo	B [cm]	H [cm]	A [cmq]	W [cm ³]
1	0,00	Calcestruzzo	90,00	90,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

(Sistema di riferimento con origine in testa alla paratia, ascissa X positiva verso monte, ordinata Y positiva verso l'alto)

N numero ordine del punto
X ascissa del punto espressa in [m]
Y ordinata del punto espressa in [m]
A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
2	1,45	0,00	0,00
3	4,00	1,70	33,69
4	10,00	1,70	0,00

Profilo di valle - Fase n° 1

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-10,00	-0,90	--
2	0,00	-0,90	0,00

Profilo di valle - Fase n° 2

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-10,00	-2,75 (Static) -2,15 (Sismic)	--
2	0,00	-2,75 (Static) -2,15 (Sismic)	0,00

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine
Descrizione Descrizione del terreno
 γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
 γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
 ϕ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
 δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c coesione del terreno espressa in [kPa]
ca adesione terreno/paratia espressa in [kPa]

Parametri per il calcolo dei tiranti secondo il metodo di Bustamante-Doix

Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
 τ_t tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kPa]

I parametri medi e minimi vengono usati per il calcolo di portanza di progetto dei pali e per la resistenza di progetto a sfilamento dei tiranti

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]	Cesp	τ_t [kPa]	
1	ALL_Ls	19,500	19,500	28,00 28,00 28,00	18,66 18,66 18,66	5,0 5,0 5,0	0,0 0,0 0,0	1,00	0,0 0,0 0,0	CAR MIN MED

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine dello strato a partire dalla sommità della paratia
sp	spessore dello strato in corrispondenza dell'asse della paratia espresso in [m]
kw	costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm ² /cm
α	inclinazione dello strato espressa in GRADI(°) (M: strato di monte V: strato di valle)
Terreno	Terreno associato allo strato (M: strato di monte V: strato di valle)

N°	sp [m]	a _M [°]	a _V [°]	K _{wM} [kg/cmq/cm]	K _{wV} [kg/cmq/cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,75 (Static) 2,15 (Sismic)	0.00	0.00	0.59 (Static) 0.50 (Sismic)	0.59 (Static) 0.50 (Sismic)	ALL_Ls	ALL_Ls
2	10,00 (Static) 10,00 (Sismic)	0.00	0.00	2.63 (Static) 2.44 (Sismic)	2.63 (Static) 2.44 (Sismic)	ALL_Ls	ALL_Ls

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

γ _{cls}	Peso specifico cls, espresso in [kN/mc]
Classe cls	Classe di appartenenza del calcestruzzo
Rck	Rigidità cubica caratteristica, espressa in [kPa]
E	Modulo elastico, espresso in [kPa]
Acciaio	Tipo di acciaio
n	Coeff. di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo

Descrizione	γ _{cls} [kN/mc]	Classe cls	Rck [kPa]	E [kPa]	Acciaio	n
Paratia	25,00	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00
Cordolo/Muro	25,00	C32/40	40000	33642648	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

Impostazioni di progetto

Spinte e verifiche secondo: **Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 (17/01/2018)**

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

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ _{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	γ _{Gfav}	0.80	0.80	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	γ _{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ _{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ _{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	γ _{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	γ _{Qsfav}	1.35	1.15	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	γ _{tanφ}	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	γ _c	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ _{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ _{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ _γ	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica materiali : Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

Coefficiente di sicurezza calcestruzzo	1.50
Coefficiente di sicurezza acciaio	1.15
Fattore riduzione da resistenza cubica a cilindrica	0.83
Fattore di riduzione per carichi di lungo periodo	0.85
Coefficiente di sicurezza per la sezione	1.00

Verifica Taglio

Sezione in c.a.

$$V_{Rsd} = 0.9d \frac{A_{sw}}{s} f_{yk} (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \text{ sen } \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d b_w \alpha_c v f_{cd} \frac{\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta}{1 + \text{ctg}^2 \theta}$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b _w	larghezza minima sezione [mm]
A _{sw}	area armatura trasversale [mmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α _c	coefficiente maggiorativo, funzione di f _{cd} e σ _{cp}
σ _{cp}	tensione media di compressione [N/mmq]
v=0.5	

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali	Aggressive
Armatura ad aderenza migliorata	
Sensibilità delle armature	Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure	w ₁ = 0.20 w ₂ = 0.30 w ₃ = 0.40
Metodo di calcolo aperture delle fessure	NTC 2018 - C4.1.2.2.4.5
Calcolo momento fessurazione	Formazione
Resistenza a trazione per	Trazione

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico	Rara	σ _c < 0.60 f _{ck} - σ _t < 0.80 f _{yk}
	Quasi permanente	σ _c < 0.45 f _{ck}
	Frequente	σ _c < 1.00 f _{ck} - σ _f < 1.00 f _{yk}

Impostazioni copriferro

Copriferro (ricoprimento staffa)	7,50 [cm]
----------------------------------	-----------

Impostazioni di analisi

Analisi per Fasi di Scavo.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Impostazioni analisi per fasi di scavo:

Analisi per condizioni di esercizio
Analisi per coefficienti tipo A1-M1
Analisi per coefficienti tipo A2-M2

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia):

Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva K_a e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale:

Metodo di Fellenius

Maglia dei centri
Resistenza a taglio paratia

Passo maglia **Automatica**
 V_{Ra}

Opzioni calcolo portanza

Portanza verticale

Metodo di calcolo della portanza alla punta
Metodo di calcolo della portanza alla laterale

Berezantzev
Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)

Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo (infilso/trivellato)

Attiva

Tecnologia costruttiva:
Contributo portanza palo:

Trivellato
Laterale + Punta

Impostazioni analisi sismica

Identificazione del sito

Latitudine 43.074814
Longitudine 13.483756
Comune Servigliano
Provincia Fermo
Regione Marche

Punti di interpolazione del reticolo 23199 - 23198 - 23420 - 23421

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria
Vita nominale 50 anni
Classe d'uso IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
Vita di riferimento 100 anni

Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo [m/s^2]	2.205	0.934
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.485	2.439
Valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione T_c^* [sec]	0.346	0.315
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	B	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.177	1.200
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.040	0.040
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.643	0.643
Prodotto $\alpha \beta$	0.643 > 0.2	0.643 > 0.2
Coefficiente di intensità sismica [%]	17.020	7.348
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	
Coefficiente di riduzione (β_s)	0.380	0.470
Coefficiente di intensità sismica nella verifica di stabilità [%]	10.051	5.367

Inerzia massa strutturale **Considerata**
Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico: Rettangolare

8.1.1 Risultati delle analisi – MODELLO "STATIC"

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi in condizioni statiche, che si è articolata nelle seguenti fasi:

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

I_g Indice di gruppo
F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q_s, Q_t Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
V_s, V_v Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Fasi di scavo

Simbologia adottata

n° identificativo della fase nell'elenco definito
Fase Descrizione dell'i-esima fase
Tempo Tempo in cui avviene la fase di scavo

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0
2	Scavo fino alla profondità di 2.75 metri	1



N	OPERAZIONE	T	ESE	A1-M1	A2-M2
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0	SI	SI	SI
2	Scavo fino alla profondità di 2.75 metri	1	SI	SI	SI

Le fasi sopra elencate verranno analizzate in condizioni di:

Esercizio : **Attive**
Con coeff. tipo A1-M1 : **Attive**
Con coeff. tipo A2-M2 : **Attive**

Numero fasi di calcolo da analizzare 6 Help

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per fasi di scavo

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 55 elementi fuori terra e 103 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incrementi di carico.

Altezza fuori terra della paratia	2,75	[m]
Profondità di infissione	5,15	[m]
Altezza totale della paratia	7,90	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	ESE	0,00	0,00	--	--	--	--	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	10,09	2,10	--	--	--	--	-14,67	3,68	4,58	7,17
1	SLU - STR	0,10	0,86	--	--	--	--	-0,15	2,82	0,05	6,99
2	SLU - STR	15,94	2,04	--	--	--	--	-23,99	3,76	8,05	7,18
1	SLU - GEO	0,29	0,79	--	--	--	--	-0,43	2,81	0,14	6,98
2	SLU - GEO	19,19	2,16	--	--	--	--	-32,58	4,26	13,39	7,26

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni dei tiranti (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]

n°	Tipo	P _{NUL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]
1	ESE	0,90	0,90	-6,10	0,00	100,00
2	ESE	2,75	2,85	5,77	1,92	1,61
1	SLU - STR	0,90	2,80	5,31	0,00	0,01
2	SLU - STR	2,75	3,20	5,79	8,65	2,12
1	SLU - GEO	0,90	2,80	5,29	0,00	0,04
2	SLU - GEO	3,12	3,80	6,01	20,19	5,37

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	MIN
2	ESE	12,06	3,95	10,09	2,75	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,90	-4,58	5,75	0,00	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,14	3,35	0,10	0,90	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	-0,05	5,30	0,00	0,00	MIN
2	SLU - STR	21,10	4,00	15,94	2,75	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,80	-8,05	5,75	0,00	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,43	3,35	0,29	0,90	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-0,14	5,25	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	32,10	4,30	19,19	3,10	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-13,39	6,00	0,00	0,00	MIN

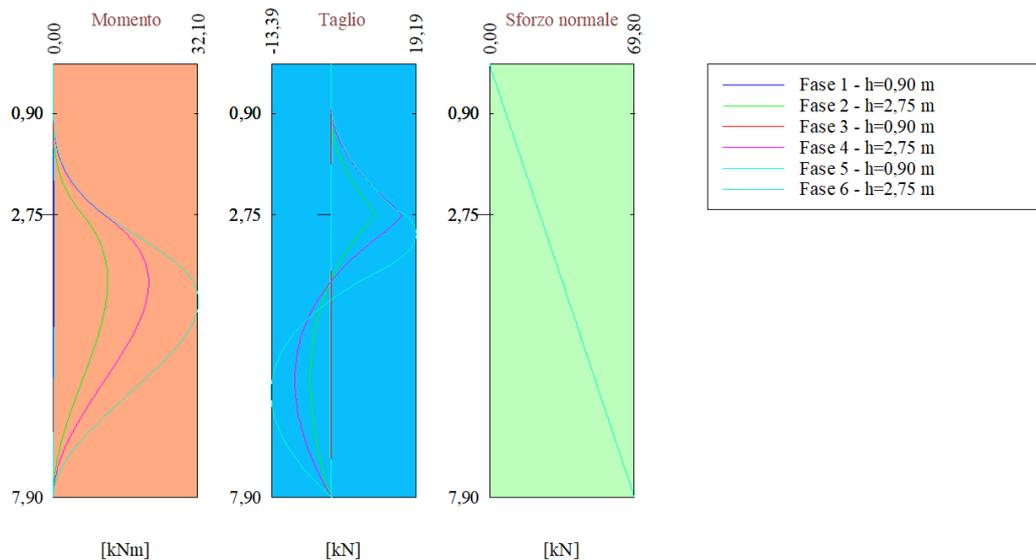


Figura 15 – Involuppo delle sollecitazioni per metro lineare

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	ESE	0,0000	0,00	0,0024	0,00	MAX
		0,0000	0,00	0,0000	0,00	MIN
2	ESE	0,1042	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0160	7,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,0010	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0001	7,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - STR	0,1847	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0284	7,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,0029	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0004	7,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,3370	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0536	7,90	0,0000	0,00	MIN

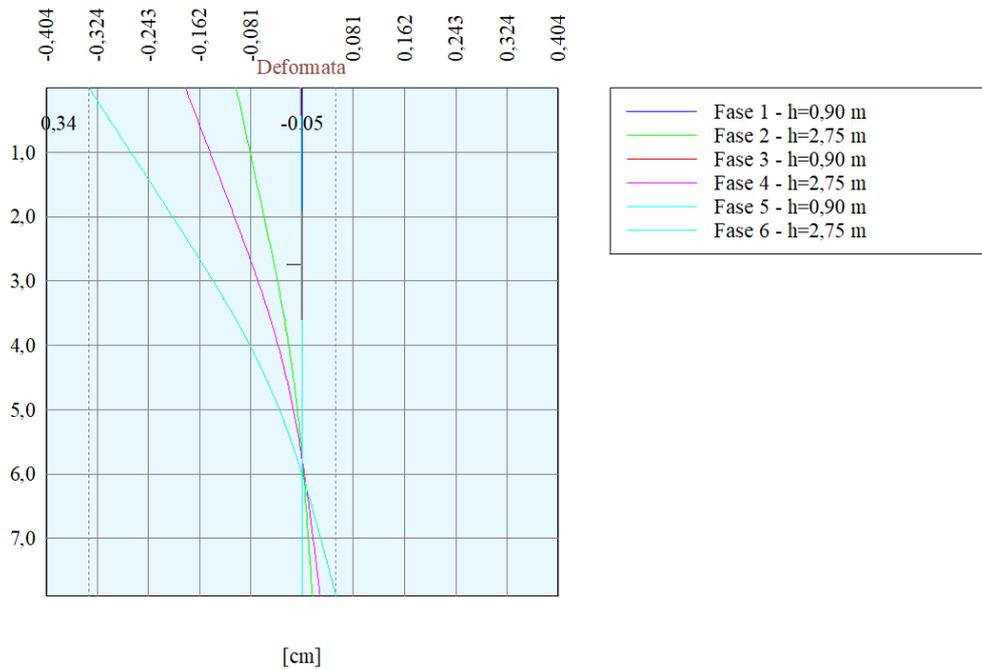


Figura 16 – Inviluppo deformata – model Static

8.1.2 Risultati delle analisi – MODELLO "SISMIC"

Nel seguito si riporta una sintesi dei risultati ottenuti dall'analisi in condizioni statiche, che si è articolata nelle seguenti fasi:

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni adottate

Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia
Le ordinate dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

I_g Indice di gruppo
F_x Forza orizzontale espressa in [kN], positiva da monte verso valle
F_y Forza verticale espressa in [kN], positiva verso il basso
M Momento espresso in [kNm], positivo ribaltante
Q_s, Q_r Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kN/mq]
V_s, V_r Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kN/mq], positivi da monte verso valle
R Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kN]

Fasi di scavo

Simbologia adottata

n° identificativo della fase nell'elenco definito
Fase Descrizione dell'i-esima fase
Tempo Tempo in cui avviene la fase di scavo

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0
2	Scavo fino alla profondità di 2.15 metri	1
3	Inserimento sisma	2

N	OPERAZIONE	T	ESE	A1-M1	A2-M2
1	Scavo fino alla profondità di 0.90 metri	0	SI	SI	SI
2	Scavo fino alla profondità di 2.15 metri	1	SI	SI	SI
3	Inserimento sisma	2	SI	SI	SI

Le fasi sopra elencate verranno analizzate in condizioni di:

Esercizio : **Attive**
Con coeff. tipo A1-M1 : **Attive**
Con coeff. tipo A2-M2 : **Attive**

Numero fasi di calcolo da analizzare 9

Analisi della paratia

L'analisi è stata eseguita per fasi di scavo

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 43 elementi fuori terra e 115 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

Le molle che simulano il terreno hanno un comportamento elastoplastico: una volta raggiunta la pressione passiva non reagiscono ad ulteriori incrementi di carico.

Altezza fuori terra della paratia	2,15	[m]
Profondità di infissione	5,75	[m]
Altezza totale della paratia	7,90	[m]

Forze agenti sulla paratia

Tutte le forze si intendono positive se dirette da monte verso valle. Esse sono riferite ad un metro di larghezza della paratia. Le Y hanno come origine la testa della paratia, e sono espresse in [m]

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Pa	Spinta attiva, espressa in [kN]
Is	Incremento sismico della spinta, espressa in [kN]
Pw	Spinta della falda, espressa in [kN]
Pp	Resistenza passiva, espressa in [kN]
Pc	Controspinta, espressa in [kN]

n°	Tipo	Pa [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	ESE	0,01	0,87	--	--	--	--	-0,02	2,69	0,01	6,92
2	ESE	4,92	1,72	--	--	--	--	-6,73	3,16	1,81	7,08
3	ESE	9,96	2,87	1,58	1,08	--	--	-13,40	3,26	1,85	7,23
1	SLU - STR	0,22	0,81	--	--	--	--	-0,32	2,68	0,10	6,91
2	SLU - STR	8,51	1,65	--	--	--	--	-11,78	3,16	3,27	7,06
3	SLV - STR	16,59	3,32	3,99	1,08	--	--	-22,83	3,33	2,26	7,31
1	SLU - GEO	0,28	0,80	--	--	--	--	-0,40	2,68	0,12	6,91
2	SLU - GEO	8,47	1,64	--	--	--	--	-11,89	3,20	3,42	7,07
3	SLV - GEO	19,99	3,02	3,91	1,08	--	--	-28,32	3,41	4,42	7,24

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Rc	Risultante carichi esterni applicati, espressa in [kN]
Rt	Risultante delle reazioni degli ancoraggi (componente orizzontale), espressa in [kN]
Rv	Risultante delle reazioni dei vincoli, espressa in [kN]
Rp	Risultante delle reazioni dei puntoni, espressa in [kN]

n°	Tipo	Rc [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	ESE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLV - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLV - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{NUL}	Punto di nullo del diagramma, espresso in [m]
P _{INV}	Punto di inversione del diagramma, espresso in [m]
C _{ROT}	Punto Centro di rotazione, espresso in [m]
MP	Percentuale molle plasticizzate, espressa in [%]
R/R _{MAX}	Rapporto tra lo sforzo reale nelle molle e lo sforzo che le molle sarebbero in grado di esplicare, espresso in [%]

n°	Tipo	P _{NUL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]
1	ESE	0,90	2,20	5,13	0,00	0,00
2	ESE	2,15	2,15	5,51	0,00	0,63
3	ESE	2,15	2,15	5,95	0,86	1,21
1	SLU - STR	0,90	2,20	5,11	0,00	0,02
2	SLU - STR	2,15	2,20	5,49	0,86	0,87
3	SLV - STR	2,15	2,25	6,16	2,59	2,08
1	SLU - GEO	0,90	2,20	5,11	0,00	0,04
2	SLU - GEO	2,15	2,35	5,50	3,45	1,46
3	SLV - GEO	2,15	2,55	5,97	10,34	3,43

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
M	momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]
N	sforzamento normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)
T	taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	ESE	0,02	3,15	0,01	0,90	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	-0,01	5,10	0,00	0,00	MIN
2	ESE	5,22	3,60	4,92	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,80	-1,81	5,50	0,00	0,00	MIN
3	ESE	9,76	3,45	7,82	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	-3,31	5,40	0,00	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,32	3,10	0,22	0,90	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-0,10	5,10	0,00	0,00	MIN
2	SLU - STR	9,51	3,55	8,51	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-3,27	5,45	0,00	0,00	MIN
3	SLV - STR	16,47	3,40	11,93	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	-5,53	5,35	0,00	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,39	3,10	0,28	0,90	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-0,12	5,10	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	9,91	3,55	8,47	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,60	-3,42	5,45	0,00	0,00	MIN
3	SLV - GEO	22,63	3,50	15,25	2,15	69,80	7,90	MAX
		0,00	0,00	-7,76	5,45	0,00	0,00	MIN

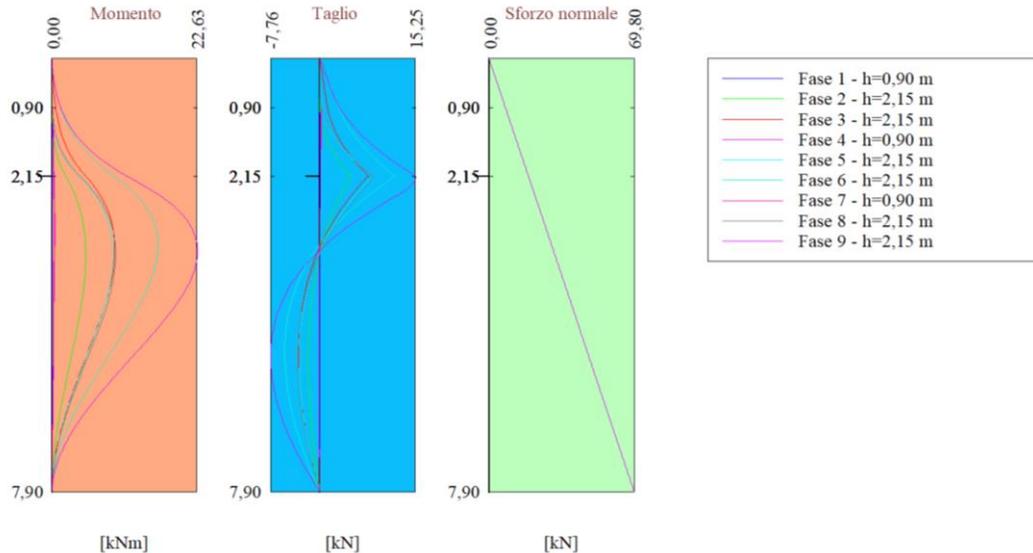


Figura 17 – Involuppo delle sollecitazioni per metro lineare

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
U	spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle
V	spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	ESE	0,0001	0,00	0,0024	0,00	MAX
		0,0000	7,90	0,0000	0,00	MIN
2	ESE	0,0395	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0060	7,90	0,0000	0,00	MIN
3	ESE	0,0732	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0076	7,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - STR	0,0020	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0003	7,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - STR	0,0710	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0107	7,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLV - STR	0,1228	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0106	7,90	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,0025	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0003	7,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,0744	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0112	7,90	0,0000	0,00	MIN
3	SLV - GEO	0,1739	0,00	0,0024	0,00	MAX
		-0,0185	7,90	0,0000	0,00	MIN

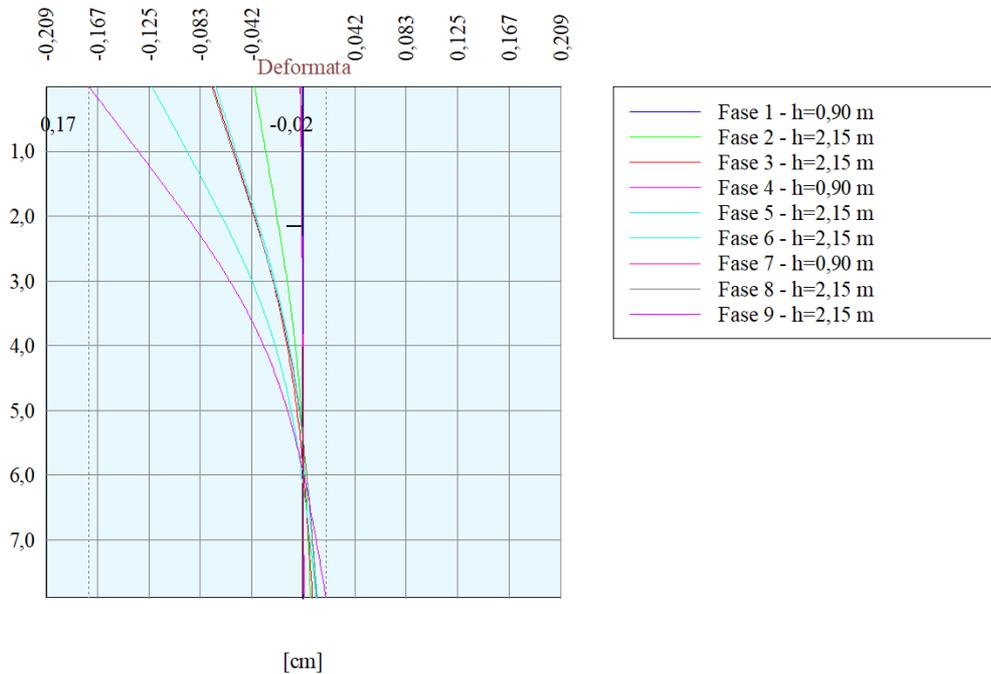


Figura 18 – Inviluppo deformata – model Sismic

8.2 VERIFICHE SLU - GEO

8.2.1 *Collasso per rotazione*

La verifica è implicitamente soddisfatta dall'avvenuta convergenza del programma di calcolo. La spinta passiva mobilitata a valle è < 100%.

8.2.2 *Verifica del complesso opera-terreno*

Si riportano nella tabella seguente i coefficienti di sicurezza minimi tra tutte le combinazioni analizzate:

STABILITA' GLOBALE	
	F _s
Model Static	2.16
Model Sismic	2.39

Come richiesto da normativa il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale si mantiene sempre $\geq 1,1$.

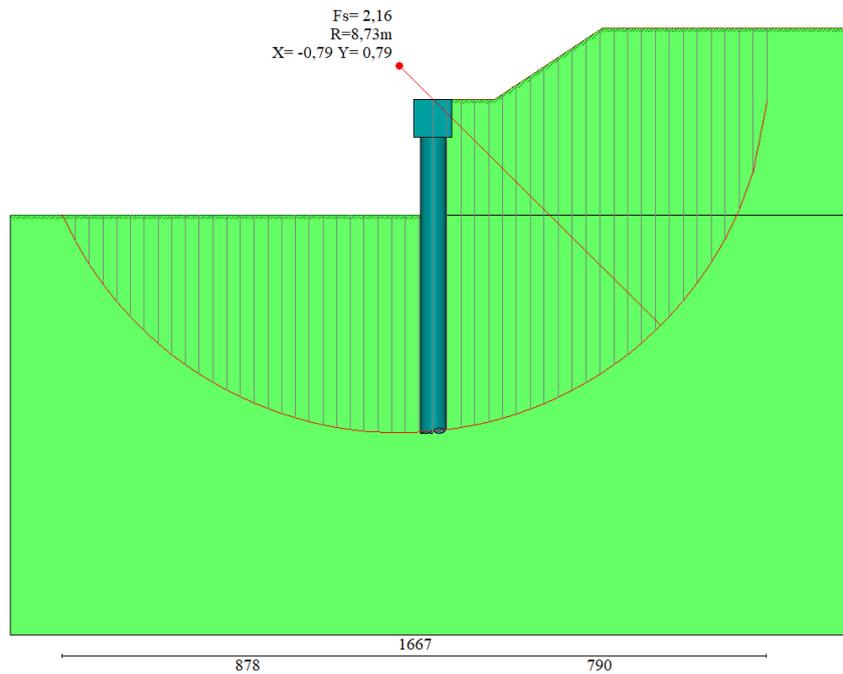


Figura 19 – Risultati analisi di stabilità globale (Model Static)

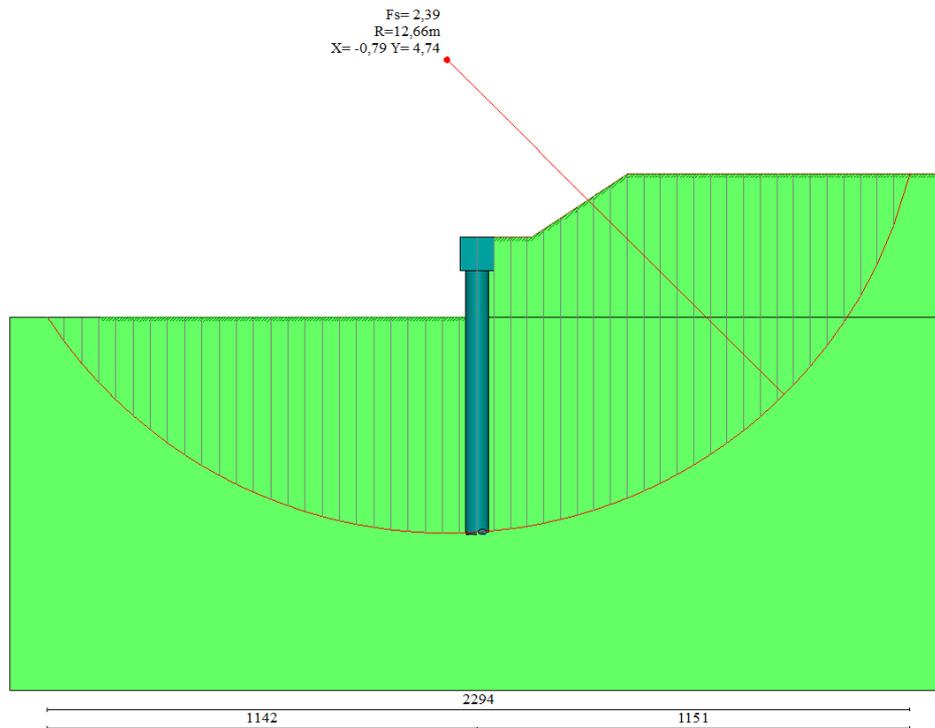


Figura 20 – Risultati analisi di stabilità globale (Model Sismic)

Si riportano nel seguito i dettagli relativi alla verifica di stabilità nella condizione più gravosa.

Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kN]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
ϕ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
L	sviluppo della base della striscia espressa in [m] ($L=b/\cos\alpha$)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kPa]
Ctn, Ctt	contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kN]

Fase n° 2 - SLU - GEO

Numero di strisce 51

Caratteristiche delle strisce

N°	Wi [kN]	α [°]	L [m]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	(Ctn; Ctt) [kN]
1	1,9465	-63.81	0,74	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
2	5,7762	-59.30	0,64	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
3	9,0010	-55.34	0,57	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
4	11,7966	-51.74	0,52	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
5	14,2630	-48.41	0,49	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
6	16,4636	-45.28	0,46	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
7	18,4418	-42.32	0,44	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
8	20,2287	-39.49	0,42	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
9	21,8476	-36.78	0,41	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
10	23,3165	-34.16	0,39	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
11	24,6494	-31.61	0,38	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
12	25,8577	-29.14	0,37	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
13	26,9506	-26.72	0,36	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
14	27,9354	-24.36	0,36	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
15	28,8186	-22.03	0,35	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
16	29,6053	-19.75	0,35	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
17	30,2998	-17.50	0,34	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
18	30,9057	-15.27	0,34	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
19	31,4260	-13.07	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
20	31,8632	-10.89	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
21	32,2193	-8.72	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
22	32,4959	-6.57	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
23	32,6941	-4.42	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
24	32,8148	-2.28	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
25	32,8586	-0.15	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
26	32,8255	1.99	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
27	32,7155	4.12	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
28	50,5652	6.28	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
29	50,2921	8.46	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
30	49,9367	10.65	0,33	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
31	49,4973	12.86	0,34	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
32	49,2191	15.08	0,34	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
33	49,8955	17.34	0,34	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
34	50,5971	19.61	0,35	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
35	51,2034	21.92	0,35	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
36	51,7098	24.27	0,36	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
37	52,1109	26.67	0,37	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
38	52,4003	29.11	0,38	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
39	52,5700	31.62	0,39	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
40	52,1120	34.19	0,40	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
41	50,6218	36.85	0,41	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
42	48,9579	39.60	0,43	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
43	47,1190	42.47	0,45	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
44	45,0803	45.47	0,47	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
45	42,8085	48.65	0,50	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
46	40,2570	52.04	0,53	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
47	37,3567	55.71	0,58	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
48	33,9976	59.78	0,65	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
49	29,9812	64.42	0,76	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
50	24,8604	70.10	0,97	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)
51	16,5683	78.89	1,71	23.04	4,0	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia = 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 1739,7354$ [kN]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 333,6854$ [kN]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 627,3482$ [kN]

$\Sigma c_i b_i / \cos \alpha_i = 91,8083$ [kN]

8.3 VERIFICHE SLU - STR

8.3.1 Verifiche strutturali pali in c.a.

Caratteristiche della sezione:

Palo: Diametro = 60,0 cm

Armatura longitudinale $A_s = 10\phi 16 = 20,11 \text{ cm}^2$

Spirale $A_{st} = \phi 14/20$

Nel seguito il dettaglio delle verifiche armatura paratie (Inviluppo sezioni critiche)

➤ Modello Static

Per le sollecitazioni di calcolo adottate nelle verifiche strutturali di seguito riportate, si rimanda al paragrafo "Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia" ed in particolare alla **figura 15** che rappresenta l'inviluppo delle sollecitazioni.

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A _f	area di armatura del palo espressa in [cmq]
A _m , A _{fs}	Area ferri lato valle e monte nel muro, espresse in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
M _u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N _u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y [m]	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
2 - SLU - GEO	4,25	20,11	25,65	30,04	212,46	248,84	8,283

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} /V _{Ed})
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 51.21 cm

n° - Tipo	Y [m]	A _{sw} [cmq]	s [cm]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS	cotgθ
2 - SLU - GEO	3,10	3,08	20,00	15,35	582,48	37,947	2,46

➤ Modello Sismic

Per le sollecitazioni di calcolo adottate nelle verifiche strutturali di seguito riportate, si rimanda al paragrafo "Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia" ed in particolare alla **figura 17** che rappresenta l'inviluppo delle sollecitazioni.

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
A _r	area di armatura del palo espressa in [cmq]
A _{ri} , A _{fs}	Area ferri lato valle e monte nel muro, espresse in [cmq]
M	momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]
N	sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)
M _u	momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]
N _u	sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]
Fs	coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y [m]	A _f [cmq]	M [kNm]	N [kN]	Mu [kNm]	Nu [kN]	FS
3 - SLV - GEO	3,35	20,11	18,00	23,68	218,74	287,82	12.155

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{sw}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
V _{Ed}	taglio agente sul palo, espresso in [kN]
V _{Rd}	taglio resistente, espresso in [kN]
FS	coefficiente di sicurezza (rapporto tra V _{Rd} / V _{Ed})
cotgθ	inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 51.21 cm

n° - Tipo	Y [m]	A _{sw} [cmq]	s [cm]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS	cotgθ
3 - SLV - GEO	2,15	3,08	20,00	12,20	581,84	47.685	2,46

8.3.2 Verifiche strutturali cordoli in c.a.

Caratteristiche della sezione:

Sezione rettangolare 90x90 cm

Armatura longitudinale sup./ inf. $A_s = 5+5\phi 16 = 10.05 + 10.05 \text{ cm}^2$

Armatura longitudinale di parete $A_s = 3+3\phi 16 = 6.03 + 6.03 \text{ cm}^2$

Staffe $A_{st} = \phi 14/20$

Nel seguito il dettaglio delle verifiche armatura paratie (Inviluppo sezioni critiche)

➤ Modello Static

Simbologia adottata

M _h	momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
T _h	taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
M _v	momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
T _v	taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

B=90,00 [cm]	H=90,00 [cm]		
A _{ri} =10,05 [cmq]	A _{fs} =6,03 [cmq]	Staffe $\phi 14/20$	Nbh=2 - Nbv=2
M _h =12,28 [kNm]	M _{uh} =316,75 [kNm]	FS=25.79	
T _h =15,35 [kN]	T _{rh} =1158,80 [kN]	FS _r =75.49	cotgθ _h =2.50
M _v =6,48 [kNm]	M _{uv} =316,75 [kNm]	FS=48.88	
T _v =16,20 [kN]	T _r =1158,80 [kN]	FS _v =71.53	cotgθ _v =2.50

➤ Modello Sismic

Simbologia adottata

M_h	momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
T_h	taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
M_v	momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
T_v	taglio espresso in [kN] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0,00 m) (Cordolo in c.a.)

B=90,00 [cm]	H=90,00 [cm]		
A_{fv} =10,05 [cmq]	A_{th} =6,03 [cmq]	Staffe ϕ 14/20	Nbh=2 - Nbv=2
M_{th} =15,30 [kNm]	M_{uh} =316,75 [kNm]	FS=20.71	
T_h =19,12 [kN]	T_{Rh} =1158,80 [kN]	FS _r =60.61	cotg θ h=2.50
M_v =6,48 [kNm]	M_{uv} =316,75 [kNm]	FS=48.88	
T_v =16,20 [kN]	T_R =1158,80 [kN]	FS _{rv} =71.53	cotg θ v=2.50

8.4 VERIFICHE SLE

8.4.1 Verifiche strutturali

➤ Modello Static

Verifica tensioni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura espressa in [cmq]
σ_c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ_f	tensione nell'acciaio espressa in [kPa]

A _f	σ_c	cmb	σ_f	cmb
[cmq]	[kPa]		[kPa]	
20,11	862	2	15719	2

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto	Muro/Paratia
Y	Ordinata sezione, espresso in [m]
M	Momento agente, espresso in [kNm]
M_f	Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
s	Distanza media tra le fessure, espressa in [mm]
ϵ_{sm}	Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
w_{lim}	Apertura limite fessure, espressa in [mm]
w_k	Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y	M	M_f	s	ϵ_{sm}	w_{lim}	w_k
		[m]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]
Paratia	2 - ESE	3,95	9,65	56,42	0,000	0,0000	0,200	0,000

➤ Modello Sismic

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
Af	area di armatura espressa in [cmq]
σ_c	tensione nel calcestruzzo espressa in [kPa]
σ_f	tensione nell'acciaio espressa in [kPa]

A _f	σ_c	cmb	σ_f	cmb
[cmq]	[kPa]		[kPa]	
20,11	688	3	12071	3

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Oggetto	Muro/Paratia
Y	Ordinata sezione, espresso in [m]
M	Momento agente, espresso in [kNm]
M _f	Momento prima fessurazione, espresso in [kNm]
s	Distanza media tra le fessure, espressa in [mm]
ε _{sm}	Deformazione nelle fessure, espressa in [%]
w _{lim}	Apertura limite fessure, espressa in [mm]
w _k	Ampiezza fessure, espressa in [mm]

Oggetto	n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	M _f [kNm]	s [mm]	ε _{sm} [%]	w _{lim} [mm]	w _k [mm]
Paratia	3 - ESE	3,45	7,81	56,15	0,000	0,0000	0,200	0,000

8.4.2 Verifica spostamenti

Si riportano di seguito le deformate, in condizioni di ESE:

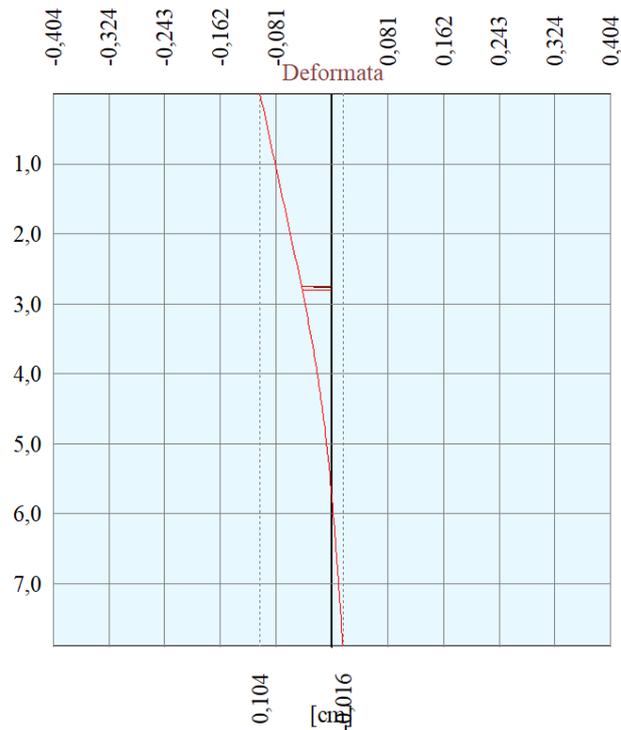


Figura 21 – Spost. orizz. max ≈ 0.10 cm - cond ESE

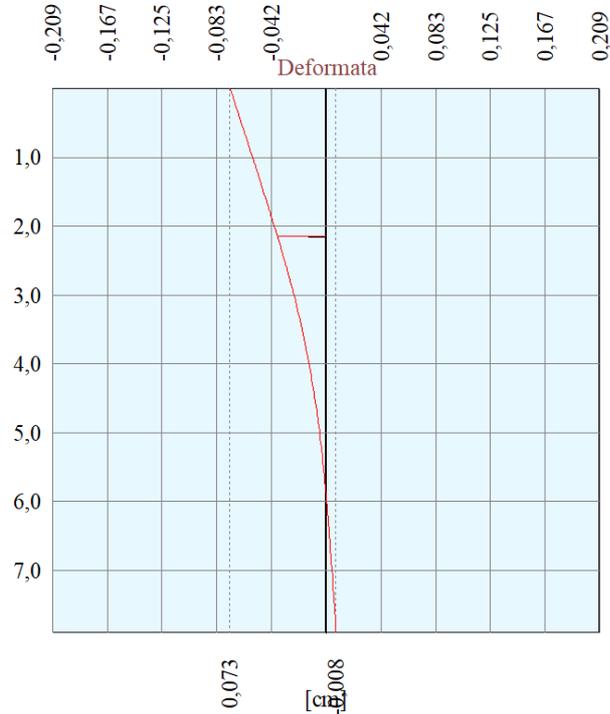


Figura 22 – Spost. orizz. max ≈ 0.07 cm - cond ESE S

I valori risultano compatibili con le limitazioni fornite da formulazioni di comprovata validità, di cui si riportano in seguito le massime deformazioni accettabili per paratie semplicemente infisse (equiparabili a muri di sostegno):

Tabella 3-1 : Da Transit New Zealand (2003) – Bridge Manual

Destinazione d'uso o ubicazione della parete	Tipologia di parete	Massima deformazione accettabile	Coefficiente r' consigliato
Spalla di un ponte	qualsiasi	minima	1
Muro che sostiene un rilevato sul cui gravano, ad una distanza non superiore a due volte l'altezza della parete, fondazioni di altre strutture	qualsiasi	minima	1
Muri di sostegno di rilevati stradali per strade di grande traffico	pareti rigide	100 mm	zona I 1.5 zona II 1.5+2 zona III 2 zona IV 2
	pareti flessibili e duttili	150 mm	2
Muri di sostegno di rilevati stradali per strade di traffico modesto	pareti rigide	100 mm	zona I 1.5 zona II 1.5+2 zona III 2 zona IV 2
	pareti flessibili e duttili	200 mm	2

Nel caso pareti ancorate si può anche fare riferimento alle indicazioni che riporta Kramer (1996), da cui è ricavata la Tabella 3-3 che propone una relazione, elaborata su 75 casi reali, tra il livello di danno subito e la massima deformazione permanente conseguente ad una sollecitazione sismica.

Tabella 3-3: da Kramer (1996) – Descrizione qualitativa e quantitativa del livello di danneggiamento osservato su pareti ancorate, dopo eventi sismici.

Livello di Danneggiamento	Descrizione del danno	Spostamento laterale permanente in testa alla paratia (cm)
0	Nessun danno apprezzabile	< 2
1	Danni trascurabili nella parete in quanto tale, danni apprezzabili nelle opere interferenti	2-10
2	Danneggiamento apprezzabile nella parete	10-30
3	Danno diffuso e rilevante nella parete che comunque mantiene la propria configurazione	30-60
4	Crollo	>60

Gli spostamenti massimi ottenuti in condizioni di esercizio, si ritengono compatibili con la funzionalità dell'opera ($\approx 1 \text{ mm} \ll 200 \text{ mm}$).

9 DICHIARAZIONI SECONDO N.T.C. 2018 (punto 10.2)

9.1 ANALISI E VERIFICHE SVOLTE CON L'AUSILIO DI CODICI DI CALCOLO

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

9.1.1 Tipo di analisi svolta

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica non-lineare, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

9.1.2 Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	PAC - Analisi e Calcolo Paratie
Versione	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	S.T.E. srl
Licenza	AIU3546NM

9.1.3 Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

9.1.4 *Modalità di presentazione dei risultati*

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

9.1.5 *Informazioni generali sull'elaborazione*

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

9.1.6 *Giudizio motivato di accettabilità dei risultati*

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.