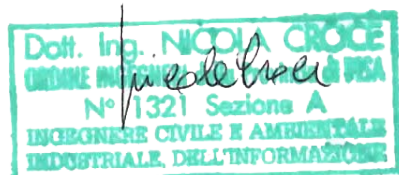


REGIONE TOSCANA



## PROGETTO ESECUTIVO

**StudiO  
CrocE** s.r.l.

Dott. Ing. Nicola Croce  
Prof. Ing. Pietro Croce  
Dott. Arch. Vladimiro Croce

collaboratori:

Dott. Ing. Marino Pelusi  
Dott. Ing. Raffaele Taccola Dott. Arch. Matteo Di Prete  
Dott. Ing. Claudia Imbrenda Geom. Stefania Morino  
Dott. Ing. Gianluca De Matteis

56017 Ghezzano (PI), via Carducci, 47

tel. 050 878716 fax. 050 878716

e-mail: [studiocroce@gmail.com](mailto:studiocroce@gmail.com)

[www.studiocroce.com](http://www.studiocroce.com)

committente

**REGIONE TOSCANA**

progetto

**LAVORI DI RIFACIMENTO DEI PONTI ANAS E FF.SS. SUL  
TORRENTE PARMIGNOLA - LOTTO I - COMPLETAMENTO**

RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

data Luglio 2020

all.

**B**

## RELAZIONE DI CALCOLO

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MATERIALI.....</b>	<b>4</b>
<b>4 INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>5 VERIFICA PALANCOLATO ARGINALE .....</b>	<b>21</b>
<b>6 MURO in c.a. IN DESTRA a valle dei ponti .....</b>	<b>42</b>
<b>Verifiche geotecniche (verifica a ribaltamento del muro in c.a.) .....</b>	<b>44</b>
<b>Verifica paramento verticale, platea di fondazione e palancoato in acciaio .....</b>	<b>44</b>
<i>Verifica SLU paramento verticale –armatura longitudinale.....</i>	<i>45</i>
<i>Verifica SLE tensionale paramento verticale – armatura longitudinale.....</i>	<i>45</i>
<i>Verifica allo stato limite di apertura delle fessure paramento verticale – armatura longitudinale .....</i>	<i>46</i>
<i>Verifica SLU platea di fondazione – armatura longitudinale .....</i>	<i>46</i>
<i>Verifica SLE platea di fondazione .....</i>	<i>47</i>
<i>Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione – direzione longitudinale .....</i>	<i>47</i>
<i>Verifica SLU paramento verticale – armatura trasversale .....</i>	<i>48</i>
<i>Verifica SLE tensionale paramento verticale- armatura trasversale.....</i>	<i>49</i>
<i>Verifica allo stato limite di apertura delle fessure paramento verticale – direzione trasversale .....</i>	<i>49</i>
<i>Verifica SLU platea di fondazione – armatura trasversale.....</i>	<i>49</i>
<i>Verifica SLE platea di fondazione – armatura trasversale .....</i>	<i>50</i>
<i>Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione – direzione trasversale.....</i>	<i>51</i>
<i>Verifica SLU taglione realizzato con palancole ad U in acciaio S355 .....</i>	<i>51</i>
<b>Verifica a sifonamento muro in destra .....</b>	<b>52</b>
<b>7 MODELLO STRUTTURALE TRATTO di collegamento.....</b>	<b>55</b>
<b>VERIFICA STRUTTURALI TRATTO DI COLLEGAMENTO ..</b>	<b>57</b>
<b>Verifica paramento verticale e platea di fondazione .....</b>	<b>58</b>
<i>Verifica SLU paramento verticale .....</i>	<i>58</i>
<i>Verifica SLE tensionale paramento verticale .....</i>	<i>59</i>
<i>Verifica allo stato limite di apertura delle fessure paramento verticale .....</i>	<i>60</i>
<i>Verifica SLU platea di fondazione.....</i>	<i>60</i>
<i>Verifica SLE platea di fondazione .....</i>	<i>61</i>



*Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione .....62*

## **8 VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DELLA BERLINESE..... 64**

*Verifica SLU micropalo .....69*

*Verifica SLU micropalo .....73*

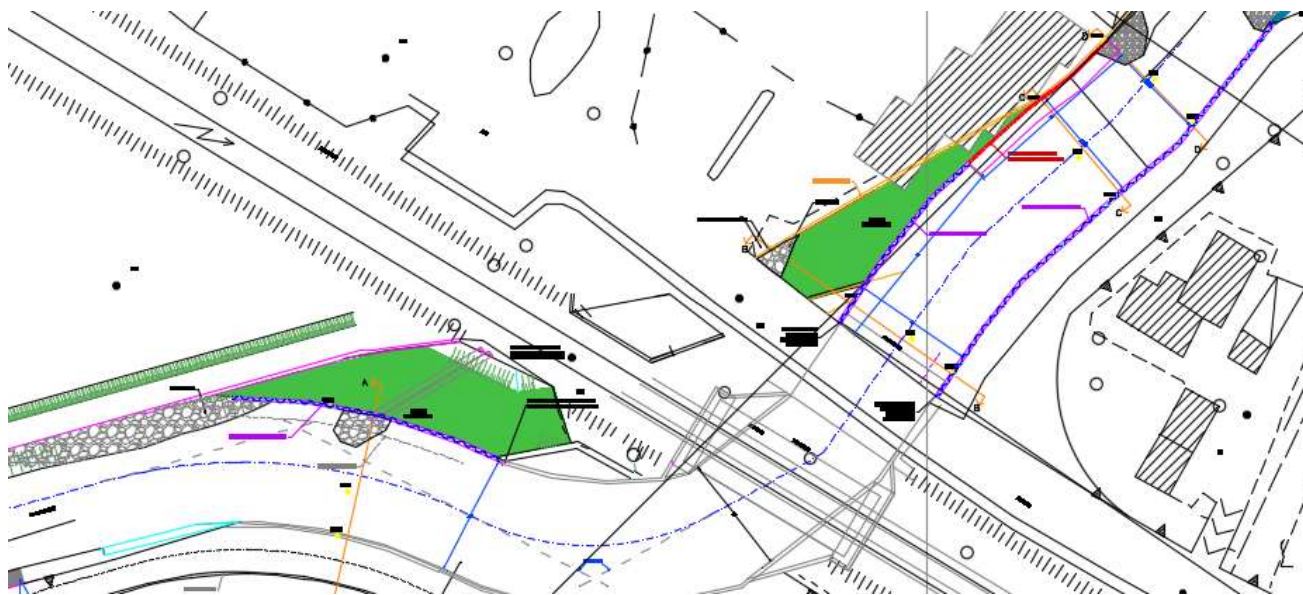
## 1. PREMESSA

Nella presente relazione sono presenti le verifiche inerenti la realizzazione e l'adeguamento idraulico del torrente Parmignola a monte del nuovo ponte sull'Aurelia.

L'intervento consiste nella realizzazione del collegamento tra il vecchio alveo e il nuovo alveo collegante i nuovi ponti dell'Aurelia e della Ferrovia.

La sezione idraulica sarà realizzata mediante infissione di palancole metalliche in acciaio, con cordolo di collegamento in c.a.. Il tratto prospiciente il fabbricato presente in destra idraulica, per uno sviluppo longitudinale di 25 m, sarà realizzato con berlinese di micropali rivestiti con muro in c.a.. La terra escavata verrà utilizzata per realizzare dei riempimenti a tergo dei nuovi argini in palancole. Verrà realizzato un muro in c.a. ad U per il collegamento del palancole con le spalle del ponte Aurelia; a valle della ferrovia, dopo la demolizione dell'argine sinistro (linea gotica) verrà realizzato un muro in c.a. su palancole esistenti.

Il tutto completato da lavori di risagomatura, scogliere di protezione e ripristini stradali. L'intervento ha il duplice scopo di ripristinare la capacità statica degli argini anche nei confronti del sifonamento e di adeguare le sezioni d'alveo alla portata duecentennale.



Planimetria d'intervento

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Si riporta l'elenco delle principali Normative Tecniche e Istruzioni seguite nello sviluppo della progettazione degli elementi strutturali:

Per la valutazione dei carichi si è operato in accordo con il Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni” - D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018.

Per quanto concerne la verifica degli elementi sono state seguite le prescrizioni del Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni” - D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018.

Le valutazione della sicurezza a fronte degli eventi sismici è stata condotta in accordo a quanto disposto dal Testo Unico “Norme Tecniche per le Costruzioni” - D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018.

CIRCOLARE 21 gennaio 2019

### 3. MATERIALI

Per la realizzazione del presente lavoro saranno impiegati i seguenti materiali:

#### **Acciaio per c.a. B450C**

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	$\sigma_s = 1.15$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 3913 \text{ daN/cm}^2$
Deformazione di incipiente snervamento di calcolo	$\varepsilon_{syd} = 0.00186$
Modulo elastico	$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$

#### **Calcestruzzo per c.a. C 32/40 CLASSE ESPOSIZIONE XC4**

Resistenza caratteristica a compressione cubica	$R_{ck} = 400 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 320 \text{ daN/cm}^2$
Coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo	$\gamma_c = 1.5$
Modulo elastico istantaneo tangente all'origine	$E_c = 333458 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = 213.3 \text{ daN/cm}^2$
Massima tensione di compressione di calcolo	$\sigma_{cd} = 181.3 \text{ daN/cm}^2$
Deformazione limite in compressione	$\varepsilon_{cu} = 0.0035$
Deformazione di incipiente plasticizzazione in compressione	$\varepsilon_{co} = 0.002$

## PALANCOLATO ACCIAIO S355

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} = 3550 \text{ daN/cm}^2$
Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio	$\gamma_s = 1.05$
Tensione di snervamento di calcolo	$f_{yd} = 3381 \text{ daN/cm}^2$
Deformazione di incipiente snervamento di calcolo	$\epsilon_{syd} = 0.00186$
Modulo elastico	$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$

## 4 INTRODUZIONE

Le paratie sono opere di ingegneria civile che trovano molta applicazione in problemi legati alla stabilizzazione di versanti o al sostegno di rilevati di terreno. Tuttavia è anche facile sentire parlare di paratie che sono utilizzate per l'ormeggio di grandi imbarcazioni, o per puntellare pareti di trincee e altri scavi o per realizzare cassoni a tenuta stagna per lavori subacquei. Come si può quindi intuire grande importanza deve essere data alla progettazione di una simile opera, soprattutto per quanto riguarda il progetto strutturale e geotecnico. Per quanto riguarda l'aspetto del calcolo vale la pena sottolineare che non esistono, ad oggi, metodi esatti, e questo è anche dovuto alla complessa interazione tra la profondità di scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. In ogni caso, i metodi correntemente utilizzati possono essere classificati in due categorie:

1. Metodi che si basano su una discretizzazione del modello di paratia (si parla di differenze finite o di elementi finiti);
2. Metodi che si basano su congetture di tipo semplicistico, al fine di poter affrontare il problema con il semplice studio dell'equilibrio di un corpo rigido.

Tra le due classi di metodi esposti all'elenco precedente, quello degli elementi finiti è quello che più di tutti risulta razionale, in quanto basato su considerazioni che coinvolgono sia la statica del problema (equilibrio) sia la cinematica (congruenza).

### Tipi di paratie.

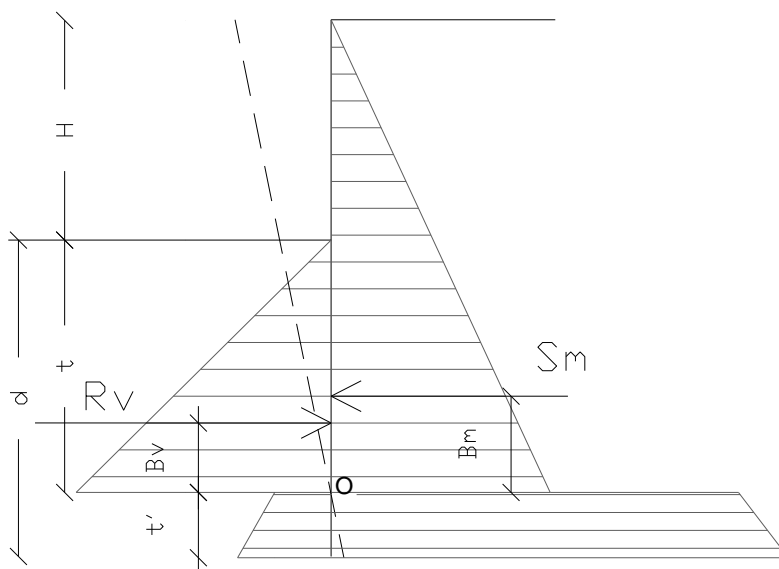
I tipi di paratie maggiormente utilizzate allo stato attuale possono essere classificati come segue:

1. Paratie in calcestruzzo armato, costruite per mezzo di pali o per mezzo di setti (entrambi armati);
2. Paratie di legno;
3. Paratie in acciaio.

## Analisi della paratia.

### Alcune considerazioni preliminari.

Gli elementi che concorrono al calcolo di una paratia sono vari. Si coinvolgono infatti concetti legati alla flessibilità dei pali, al calcolo della spinta del terrapieno, alla rigidità del terreno ecc. Si osservi la seguente figura:



**Figura 1: Schema delle pressioni agenti sulla paratia**

Si vede che le pressioni laterali che sono chiamate a concorrere nell'equilibrio sono la pressione attiva sviluppata a tergo della paratia e la pressione passiva che si sviluppa nella parte anteriore della paratia (Parte di valle della paratia). Il calcolo, sia nell'ambito dei metodi semplificati che nell'ambito di metodi numerici, della spinta a tergo ed a valle della paratia viene solitamente condotto sia con il metodo di Rankine che con il metodo di Coulomb. Si rileva però che il metodo di Coulomb fornisce risultati più accurati in quanto essendo la paratia un'opera solitamente flessibile, e manifestando quindi spostamenti maggiori si generano fenomeni di attrito all'interfaccia paratia-terreno che possono essere tenuti in conto solo attraverso i coefficienti di spinta di Coulomb. Nell'utilizzo del metodo degli elementi finiti si deve calcolare anche un coefficiente di reazione del terreno  $k_s$ , oltre che la spinta attiva e passiva del terreno. Se si parla di analisi in condizioni non drenate è inoltre necessario conoscere il valore della coesione non drenata. E' inoltre opportuno considerare che se si vuole tenere debitamente in conto l'attrito tra terreno e opera si deve essere a conoscenza dell'angolo di attrito tra terreno e opera (appunto). In conclusione i parametri (in termini di proprietà del terreno) di cui si deve disporre per effettuare l'analisi sono i seguenti:

1. Angolo di attrito interno del terreno;

2. Coesione del terreno;
3. Peso dell'unità di volume del terreno;
4. Angolo di attrito tra il terreno ed il materiale che costituisce l'opera.

### Calcolo delle spinte.

Come accennato in uno dei paragrafi precedenti, deve in ogni caso essere effettuato il calcolo della spinta attiva e passiva. Si espone quindi in questa sezione il calcolo delle spinte con il metodo di Coulomb.

### Calcolo della spinta attiva.

La spinta attiva può essere calcolata con il metodo di Coulomb o alternativamente utilizzando la Teoria di Caquot.

### Metodo di Coulomb.

Il metodo di Coulomb è capace di tenere in conto le variabili più significative, soprattutto con riguardo al fenomeno attritivo che si genera all'interfaccia paratia-terreno. Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione (valutata alla profondità  $z$ ):

$$\sigma_h(z) = k_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta totale, che è l'integrale della relazione precedente su tutta l'altezza, è applicata ad  $1/3$  di  $H$  e si calcola con la seguente espressione:

$$S_t(z) = \frac{1}{2} k_a \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato con  $k_a$  il valore del coefficiente di pressione attiva, determinabile con la seguente relazione:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_a = \frac{\sin^2(\phi + \beta)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta - \delta) \times \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < (\beta - \phi - \varepsilon) \text{ secondo Muller - Breslau} \end{array} \right.$$

$\gamma_t$  = Peso unità di volume del terreno;

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

$\phi$  = Angolo di resistenza al taglio del terreno;

$\delta$  = Angolo di attrito terreno-paratia positivo se antiorario;



$\varepsilon$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria;

### **Metodo di Caquot.**

Il metodo di Coulomb risulta essere un metodo sufficientemente accurato per la valutazione dei coefficienti di pressione allo stato limite. Tuttavia soffre dell'ipotesi riguardante la planarità della superficie di scorrimento. Tale ipotesi è rimossa applicando la teoria di Caquot la quale si basa sull'utilizzo di una superficie di scorrimento a forma di spirale logaritmica. Secondo questa teoria il coefficiente di pressione attiva si determina utilizzando la seguente formula:

$$K_a = \rho \cdot K_a^{Coulomb}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

- $K_a^{Coulomb}$  è il coefficiente di pressione attiva calcolato con la teoria di Coulomb;
- $\rho$  è un coefficiente moltiplicativo calcolato con la seguente formula:

$$\rho = \left( [1 - 0.9 \cdot \lambda^2 - 0.1 \cdot \lambda] \cdot [1 - 0.3 \cdot \lambda^3] \right)^{-n}$$

Dove i simboli sono calcolati con le seguenti formule:

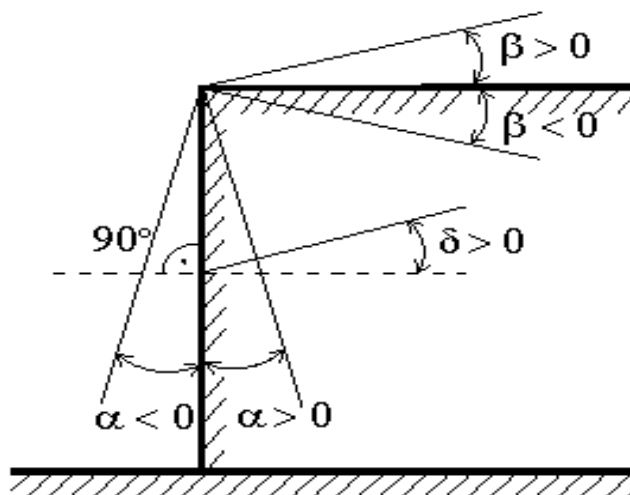
$$\lambda = \frac{\Delta + \beta - \Gamma}{4 \cdot \varphi - 2 \cdot \pi \cdot (\Delta + \beta - \Gamma)}$$

$$\Delta = 2 \cdot \tan^{-1} \left( \frac{|\cot(\delta)| - \sqrt{\cot^2(\delta) - \cot^2(\varphi)}}{1 + \cos ec(\varphi)} \right)$$

$$\Gamma = \sin^{-1} \left( \frac{\sin(\beta)}{\sin(\varphi)} \right)$$

Dove i simboli hanno il seguente significato (vedere anche figura seguente):

- $\beta$  è l'inclinazione del profilo di monte misurata rispetto all'orizzontale;
- $\varphi$  è l'angolo di attrito interno del terreno spingente;
- $\delta$  è l'angolo di attrito all'interfaccia opera-terreno;



**Figura: Convenzione utilizzata per il calcolo del coefficiente di pressione secondo la teoria di Caquot**

### Carico uniforme sul terrapieno

Un carico  $Q$ , uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari:

$$\sigma_q(z) = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Integrando la tensione riportata alla formula precedente si ottiene la spinta totale dovuta al sovraccarico:

$$S_q = k_a \cdot Q \cdot \frac{\sin(\beta)}{\sin(\beta + \varepsilon)} \cdot H$$

Con punto di applicazione ad  $H/2$  (essendo la distribuzione delle tensioni costante). Nelle precedenti formule i simboli hanno il seguente significato:

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

$\varepsilon$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

$K_a$  = Coefficiente di pressione attiva calcolato al paragrafo precedente

### Striscia di carico su pc inclinato

Il carico agente viene decomposto in un carico ortogonale ed in uno tangenziale al terrapieno, le pressioni indotte sulla parete saranno calcolate come illustrato nei due paragrafi che seguono.

### Striscia di carico ortogonale al piano di azione

Un carico ripartito in modo parziale di ascissa iniziale  $x_1$  ed ascissa finale  $x_2$  genera un diagramma di pressioni sulla parete i cui valori sono stati determinati secondo la formulazione di Terzaghi, che esprime la pressione alla generica profondità  $z$  come segue:

$$\sigma_q(z) = \frac{Q}{2\pi \times (2\Delta\theta + A)}$$

$$\tau_{xz} = -\frac{Q}{2\pi B}$$

Con:

$$\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2;$$

$$A = \sin(2\theta_1) - \sin(2\theta_2)$$

$$B = \cos(2\theta_1) - \cos(2\theta_2)$$

$$\theta_1 = \arctg(z/x_1)$$

$$\theta_2 = \arctg(z/x_2)$$

Per integrazione si otterrà la risultante ed il relativo braccio.

### Striscia di carico tangenziale al p.c.

$$\sigma_x = \frac{t}{2\pi \times (D - 2E)}$$

T = Intensità del carico  $[F/L^2]$

D =  $4 \times \log[\sin\theta_1/\sin\theta_2]$

E =  $\sin^2\theta_1 - \sin^2\theta_2$

### Linee di carico sul terrapieno

Le linee di carico generano un incremento di pressioni sulla parete che secondo BOUSSINESQ, alla profondità  $z$ , possono essere espresse come segue:

$$\sigma_x(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x^2 \cdot z \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

$$\tau_{xz}(x, z) = \frac{2V}{\pi \cdot x \cdot z^2 \cdot (x^2 + z^2)^2}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

V = Intensità del carico espressa in [F/L];

X = Distanza, in proiezione orizzontale, del punto di applicazione del carico dalla parete;

Se il piano di azione è inclinato di  $\varepsilon$  viene ruotato il sistema di riferimento xz in XZ, attraverso la seguente trasformazione:

$$\begin{cases} X = x \cdot \cos(\varepsilon) - z \cdot \sin(\varepsilon) \\ Z = z \cdot \cos(\varepsilon) + x \cdot \sin(\varepsilon) \end{cases}$$

### Spinta in presenza di falda acquifera

La falda con superficie distante  $H_w$  dalla base della struttura, induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità  $z$  sono espresse come segue:

$$u(z) = \gamma_w \cdot z$$

La spinta idrostatica totale si ottiene per integrazione su tutta l'altezza della relazione precedente:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

Avendo indicato con  $H$  l'altezza totale di spinta e con  $\gamma_w$  il peso dell'unità di volume dell'acqua. La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo  $\gamma_t$  con  $\gamma'_t$  ( $\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$ ), peso specifico del materiale immerso in acqua. In condizioni sismiche la sovraspinta esercitata dall'acqua viene valutata nel seguente modo:

$$\Delta S_w = \frac{7}{12} \gamma_w \cdot H_w^2 \cdot C$$

applicata a 2/3 dell'altezza della falda  $H_w$  [Matsuo O'Hara (1960) Geotecnica, R. Lancellotta]

### Effetto dovuto alla presenza di coesione

La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -\frac{2 \cdot c}{\sqrt{k_a}}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto della spinta per effetto della coesione. E' stata calcolata l'altezza critica  $Z_c$  come segue:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma_t \times \sqrt{Ka}} - \left\{ \frac{\left[ \frac{Q \times \sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)} \right]}{\gamma_t} \right\}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato

Q = Carico agente sul terrapieno eventualmente presente.

$\gamma_t$  = Peso unità di volume del terreno

$\beta$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede

$\varepsilon$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale positiva se antioraria

C = Coesione del materiale

Ka = Coefficiente di pressione attiva, come calcolato ai passi precedenti

Nel caso in cui si verifichi la circostanza che la  $Z_c$ , calcolata con la formula precedente, sia minore di zero è possibile sovrapporre direttamente gli effetti dei diagrammi, imponendo un decremento al diagramma di spinta originario valutato come segue:

$$S_c = P_c \cdot H$$

Dove si è indicata con il simbolo H l'altezza totale di spinta.

## Sisma

### Spinta attiva in condizioni sismiche

In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sulla parete è data da:

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

H = altezza di scavo

Kv = coefficiente sismico verticale

$\gamma$  = peso per unità di volume del terreno

K = coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico) (vedi Mononobe&Okabe)

Ews = spinta idrostatica dell'acqua

Ewd = spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica  $E_{wd} = 0$ , ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo  $\beta$  della formula di Mononobe&Okabe così come di seguito:

$$\operatorname{tg} \vartheta = \frac{\gamma_{\text{sat}}}{\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{\text{wd}} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2$$

Con H' altezza del livello di falda (riportata nella sezione relativa al calcolo della spinta idrostatica).

### **Resistenza passiva**

Anche per il calcolo della resistenza passiva si possono utilizzare i due metodi usati nel calcolo della pressione allo stato limite attivo (metodo di Coulomb e metodo di Caquot).

#### ***Metodo di Coulomb***

Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni in condizioni di stato limite passivo risulta lineare con legge del tipo del tipo:

$$\sigma_p(z) = k_p \gamma_t z$$

Ancora una volta integrando la precedente relazione sull'altezza di spinta ( che per le paratie deve essere valutata attentamente ) si ottiene la spinta passiva totale:

$$S_t = \frac{1}{2} k_p \cdot \gamma_t \cdot H^2$$

Avendo indicato al solito con H l'altezza di spinta,  $\gamma_t$  il peso dell'unità di volume di terreno e con  $k_p$  il coefficiente di pressione passiva ( in condizioni di stato limite passivo ). Il valore di questo coefficiente è determinato con la seguente formula:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_p = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \times \sin(\beta + \delta) \times \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi + \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \times \sin(\beta + \varepsilon)}} \right]^2} \\ \text{con } \delta < \beta - \phi - \varepsilon \text{ secondo Muller - Breslau} \end{array} \right.$$

con valori limite pari a:  $\delta < \beta - \phi - \varepsilon$  (Muller-Breslau).

#### ***Metodo di Caquot***

Il metodo di Caquot differisce dal metodo di Coulomb per il calcolo del coefficiente di pressione allo stato limite passivo. Il coefficiente di pressione passiva viene calcolato, con questo metodo, interpolando i valori della seguente tabella:

<b>Coefficient of passive earth pressure <math>K_p</math> for <math>\delta = -\phi</math></b>											
$\alpha [^\circ]$	$\phi [^\circ]$	$K_p$ when $\beta^\circ$									
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	10	1,17	1,41	1,53							
	15	1,30	1,70	1,92	2,08						
	20	1,71	2,08	2,42	2,71	2,92					
	25	2,14	2,81	2,98	3,88	4,22	4,43				
-30	30	2,78	3,42	4,18	5,01	5,98	8,94	7,40			
	35	3,75	4,73	5,87	7,21	8,78	10,80	12,50	13,80		
	40	5,31	8,87	8,77	11,00	13,70	17,20	24,80	25,40	28,40	
	45	8,05	10,70	14,20	18,40	23,80	90,60	38,90	49,10	60,70	69,10
	10	1,36	1,58	1,70							
	15	1,68	1,97	2,20	2,38						
	20	2,13	2,52	2,92	3,22	3,51					
	25	2,78	3,34	3,99	4,80	5,29	5,57				
-20	30	3,78	4,81	8,58	8,81	7,84	9,12	9,77			
	35	5,38	8,89	8,28	10,10	12,20	14,80	17,40	19,00		
	40	8,07	10,40	12,00	18,50	20,00	25,50	38,50	37,80	42,20	
	45	13,2	17,50	22,90	29,80	38,30	48,90	82,30	78,80	97,30	111,04
	10	1,52	1,72	1,83							
	15	1,95	2,23	2,57	2,88						
	20	2,57	2,98	3,42	3,75	4,09					
	25	3,50	4,14	4,90	5,82	8,45	8,81				
-10	30	4,98	8,01	7,19	8,51	10,10	11,70	12,80			
	35	7,47	9,24	11,30	13,80	18,70	20,10	23,70	26,00		
	40	12,0	15,40	19,40	24,10	29,80	37,10	53,20	55,10	61,80	
	45	21,2	27,90	38,50	47,20	80,80	77,30	908,20	124,00	153,00	178,00
	10	1,84	1,81	1,93							
	15	2,19	2,46	2,73	2,91						

	20	3,01	3,44	3,91	4,42	4,66					
	25	4,28	5,02	5,81	6,72	7,71	8,16				
0	30	8,42	7,69	9,19	10,80	12,70	14,80	15,90			
	35	10,2	12,60	15,30	18,80	22,30	28,90	31,70	34,90		
	40	17,5	22,30	28,00	34,80	42,90	53,30	78,40	79,10	88,70	
	45	33,5	44,10	57,40	74,10	94,70	120,00	153,00	174,00	240,00	275,00
	10	1,73	1,87	1,98							
	15	2,40	2,65	2,93	3,12						
	20	3,45	3,90	4,40	4,96	5,23					
10	25	5,17	5,99	6,90	7,95	9,11	9,67				
	30	8,17	9,69	11,40	13,50	15,90	18,50	19,90			
	35	13,8	16,90	20,50	24,80	29,80	35,80	42,30	46,60		
	40	25,5	32,20	40,40	49,90	61,70	76,40	110,00	113,00	127,00	
	45	52,9	69,40	90,90	116,00	148,00	188,00	239,00	303,00	375,00	431,00
	10	1,78	1,89	2,01							
	15	2,58	2,82	3,11	3,30						
	20	3,90	4,38	4,92	5,53	5,83					
20	25	6,18	7,12	8,17	9,39	10,70	11,40				
	30	10,4	12,30	14,40	16,90	20,00	23,20	25,00			
	35	18,7	22,80	27,60	33,30	40,00	48,00	56,80	62,50		
	40	37,2	46,90	58,60	72,50	89,30	111,00	158,00	164,00	185,00	
	45	84,0	110,00	143,00	184,00	234,00	297,00	378,00	478,00	592,00	680,00

**Tabella: Valutazione del coefficiente di pressione passiva con la teoria di Caquot**

### **Carico uniforme sul terrapieno**

La resistenza indotta da un carico uniformemente distribuito  $S_q$  vale:

$$S_q = k_p \cdot Q \cdot H \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \varepsilon)}$$

Con punto di applicazione pari a  $H/2$  ( essendo il diagramma delle tensioni orizzontali costante per tutta l'altezza ). Nella precedente formula  $k_p$  è il coefficiente di spinta passiva valutato al paragrafo precedente.

### **Coesione**

La coesione determina un incremento di resistenza pari a:

$$P_c = 2c \times \sqrt{k_p}$$



Tale incremento va a sommarsi direttamente al diagramma principale di spinta.

### **Metodo dell'equilibrio limite ( LEM )**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nel ricercare soluzioni, al problema di verifica o di progetto, che siano compatibili con il solo aspetto statico del problema. In sostanza si ragiona in termini di equilibrio di un corpo rigido, senza preoccuparsi della congruenza cinematica degli spostamenti. I principali schemi di calcolo cui si farà riferimento sono i seguenti:

1. Paratia a sbalzo;
2. Paratia tirantata ad estremo libero;
3. Paratia tirantata ad estremo fisso;

#### **Paratia a sbalzo: calcolo della profondità d'infissione limite**

Per paratia non tirantata, la stabilità è assicurata dalla resistenza passiva del terreno che si trova a valle della stessa; dall'equilibrio dei momenti rispetto al centro di rotazione si ottiene:

$$S_m \cdot B_m - R_v \cdot B_v = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$S_m$  =componente orizzontale della spinta attiva;

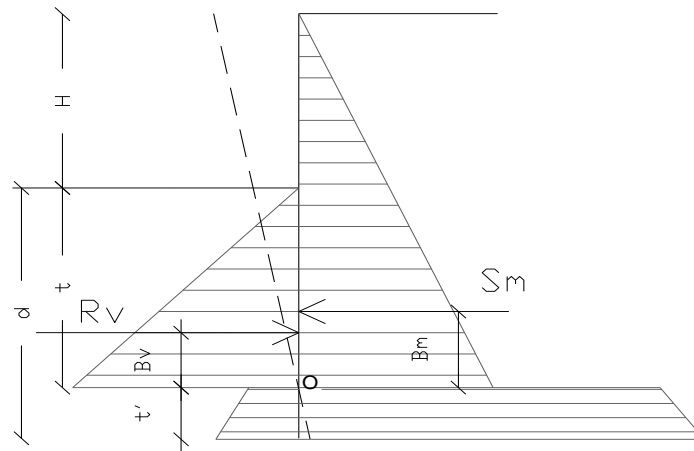
$B_m$  =braccio di  $S_m$  rispetto ad O centro di rotazione;

$R_v$  =componente orizzontale della resistenza passiva;

$B_v$  =braccio di  $R_v$  rispetto ad O centro di rotazione;

ogni termine risulta funzione di  $t$  dove  $t$  è la profondità del centro di rotazione rispetto al piano di riferimento di valle (piano campagna a valle). La lunghezza necessaria per assicurare l'equilibrio alla traslazione orizzontale si ottiene aumentando  $t$  come segue:

$$t' = a \cdot t \quad d = t \cdot (1 + a) \quad \text{dove } a = 0.2 \quad (\text{Metodo di Blum})$$



**Figura 2: Schema di riferimento per il calcolo dell'equilibrio della paratia**

### **Coefficiente di sicurezza sulla resistenza passiva**

La lunghezza d'infissione d come sopra determinata è relativa alla condizione limite di incipiente collasso, tramite un coefficiente F. E' possibile introdurre un margine di sicurezza sulle resistenze passive; la riduzione si effettua come segue:

$$S_m \cdot B_m - \frac{R_v}{F} \cdot B_v = 0$$

### **Paratia tirantata ad estremo libero: calcolo della profondità d'infissione limite**

La stabilità dell'opera è assicurata anche dai tiranti ancorati sulla paratia. Per utilizzare lo schema di calcolo ad estremo libero, la paratia deve essere sufficientemente corta e rigida. La lunghezza di infissione, sarà determinata imponendo l'equilibrio alla rotazione sull'origine del tirante indicato B1

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - R_v \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$S_m$  = componente orizzontale spinta attiva;

$H$  = altezza terreno da sostenere;

$t$  = profondità di infissione calcolata;

$B_m$  = braccio di  $S_m$  rispetto alla base della paratia;

$P_m$  = ordinata del punto di applicazione del tirante a monte;

$R_v$  = componente orizzontale della resistenza passiva;

$B_v$  = braccio di  $R_v$ .

Noto  $t$ , si determinano  $S_m$  ed  $R_v$  ed il relativo sforzo del tirante.

### **Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze passive**

La lunghezza d'infissione sarà ulteriormente aumentata per avere margine di sicurezza in condizioni di esercizio tramite il coefficiente di sicurezza F:

$$S_m \cdot (H + t - B_m - t_m) - \frac{R_v}{F} \cdot (H + t - B_v - t_m) = 0$$

### **Paratia tirantata ad estremo fisso: calcolo della profondità d'infissione limite**

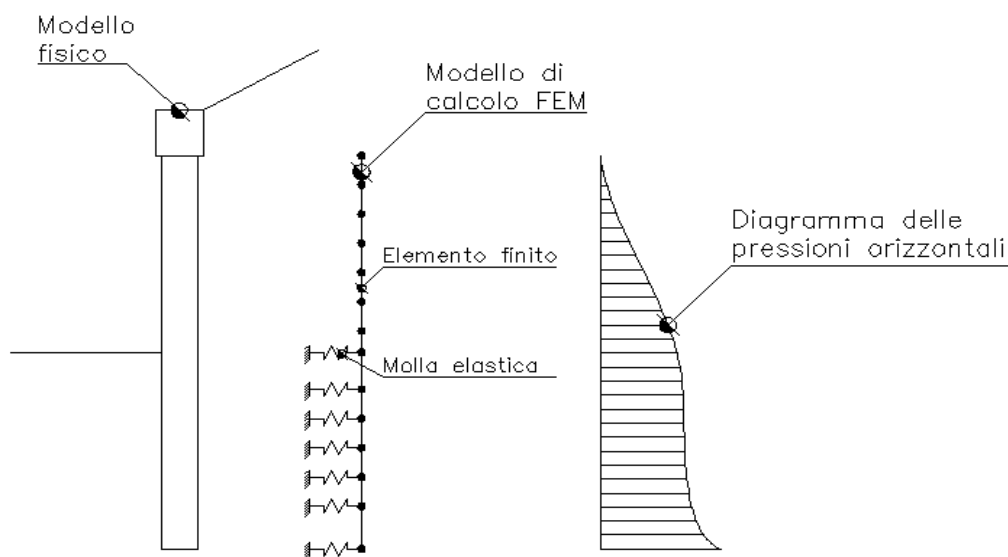
Se la sezione più profonda della paratia non trasla e non ruota può essere assimilata ad un incastro, in tal caso la paratia si definisce ad estremo fisso. Un procedimento elaborato da BLUM consente di ricavare la profondità d'infissione ( $t+t'$ ), imponendo le condizioni cinematiche di spostamenti nulli alla base dell'opera ed all'origine del tirante (B1), e le condizioni statiche di momento e taglio nullo alla base della paratia. Si perviene ad una equazione di 5° grado in ( $t+t'$ ) che può essere risolta in modo agevole.

### **Coefficiente di sicurezza F sulle resistenze**

Per aumentare il fattore di sicurezza sono stati introdotti negli sviluppi numerici, valori delle resistenze passive ridotte.

### **Metodo degli elementi finiti (FEM)**

Il metodo degli elementi finiti è il metodo che più di tutti si fonda su basi teoriche solide e razionali. Di fatti tutto il metodo presuppone che il problema sia affrontato tenendo in conto sia l'aspetto statico (e quindi l'equilibrio del problema, sia l'aspetto cinematica (e quindi la congruenza degli spostamenti o meglio delle deformazioni). In questo approccio la paratia è modellata come un insieme di travi, con vincolo di continuità tra loro (elementi beam) vincolati al terreno mediante molle elastiche, la cui rigidità è valutata in funzione delle proprietà elastiche del terreno. Nella figura che segue è mostrato schematicamente il modello utilizzato per l'analisi ad elementi finiti:



**Figura 3: Schematizzazione della paratia ad elementi finiti**

Vari aspetti hanno importanza centrale in questo metodo di calcolo. Si riportano nel seguito gli aspetti essenziali.

### Calcolo del modulo di rigidezza $K_s$ del terreno

Come già detto in precedenza, il terreno viene schematizzato con delle molle di rigidezza  $K_s$  applicate sui nodi dei conci compresi tra il nodo di fondo scavo e l'estremità di infissione. La stima della rigidezza  $K_s$  è stata effettuata sulla base della capacità portante delle fondazioni secondo la seguente formula:

$$k_s = A_s + B_s \cdot z^n$$

Dove i simboli hanno il seguente significato:

$A_s$  = costante, calcolata come segue  $A_s = C \times (c \times N_c + 0.5 \times G \times B \times N_g)$

$B_s$  = coefficiente funzione della profondità  $B_s = C \times G \times N_q$

$Z$  = Profondità in esame

$C$  = 40 nel sistema internazionale SI

$n$  =  $\pi \times \tan \phi$

$N_q$  =  $\exp[n \times (\tan^2(45^\circ + \phi/2))]$

$N_c$  =  $(N_q - 1) \times \cot \phi$

$N_g$  =  $1.5 \times (N_q - 1) \times \tan \phi$

### Tiranti

I tiranti vengono schematizzati come elementi elastici, con sezione trasversale di area pari ad  $A$  modulo di elasticità  $E$  e lunghezza  $L$ . Per un tratto di paratia di larghezza unitaria, l'azione dei tiranti inclinati di un angolo  $\beta$  vale:

$$F = \frac{A \cdot E}{S \cdot L} \cdot \cos(\beta)$$

## Sifonamento

Il sifonamento è un fenomeno che in una fase iniziale si localizza al piede della paratia, e poi rapidamente si estende nell'intorno del volume resistente. Si verifica quando, per una elevata pressione idrodinamica o di infiltrazione, si annullano le pressioni passive efficaci, con la conseguente perdita di resistenza del terreno. Si assume di norma un fattore di sicurezza  $F_{sif}=3.5-4$  Indicando con:

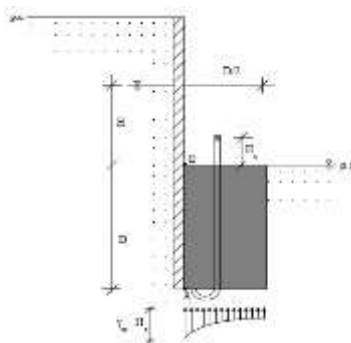
$i_c$  = Gradiente Idraulico critico;

$i_e$  = Gradiente Idraulico in condizioni di esercizio;

Il margine di sicurezza è definito come rapporto tra  $i_c$  ed  $i_e$ , se  $i_e < i_c$  la paratie è stabile.

## Verifica di sollevamento del fondo scavo.

Nel caso di un diaframma infisso nel terreno, la presenza della falda in posizioni tali da innescare un moto di filtrazione comporta l'instaurarsi di una forza di filtrazione che, se diretta verso l'alto, può annullare il peso del terreno il quale, in assenza di coesione, può essere trascinato dal flusso dell'acqua e compromettere la stabilità dell'opera. Il fenomeno della stabilità del fondo scavo, analogo a quello del sifonamento, è stato affrontato per la prima volta da Terzaghi (1943). A differenza del sifonamento, che è un fenomeno localizzato nel punto di sbocco della prima linea di flusso, quello del sollevamento del fondo scavo si estende per una profondità pari a quella d'infissione della paratia per una larghezza pari a metà di tale infissione.



Per semplificare il problema della determinazione dell'effettivo andamento della pressione interstiziale nel punto A, si assume che il valore della sovrappressione al piede del diaframma sia costante sulla lunghezza  $D/2$  e pari a  $\gamma_w \cdot H_c$ . Per determinare  $H_c$  si ricorre all'espressione del gradiente di efflusso  $i_E$ :

$$i_E = \frac{H_c}{D} = \frac{H}{H + 2D}$$

Da cui si ottiene:

$$H_c = \frac{H \times D}{H + 2D}$$

La forza di filtrazione  $S_w$  che tende a sollevare il blocco di terreno coinvolto è pari a:

$$S_w = H_c \times \gamma_w \times \frac{D}{2}$$

Le condizioni limite di stabilità vengono raggiunte quando  $S_w$  uguaglia il peso efficace del blocco, pertanto il fattore di sicurezza a sollevamento del fondo scavo si definisce come il rapporto tra il peso efficace del blocco e la forza di filtrazione:

$$F_s = \frac{W'}{S_w} = \frac{\gamma' \times D^2 / 2}{H_c \times \gamma_w \times \frac{D}{2}} = \frac{\gamma' \times D}{H_c \times \gamma_w}$$

### Verifica delle sezioni e calcolo armature

Il calcolo delle armature e le verifiche a presso-flessione e taglio della paratia soggetta alle sollecitazioni N, M e T, si effettuano sulla sezione maggiormente sollecitata. Le sollecitazioni di calcolo sono ottenute come prodotto tra le sollecitazioni ottenute con un calcolo a metro lineare e l'interasse tra i pali (o larghezza dei setti se la paratia è costituita da setto):

$$N_d = N' \cdot i; M_d = M' \cdot i; T_d = T' \cdot i$$

Dove  $M'$ ,  $M'$ ,  $T'$  rappresentano il momento il taglio e lo sforzo normale relativi ad una striscia unitaria di calcolo mentre  $i$  è l'interasse tra i pali per paratia costituita da pali o micropali (o larghezza setti per paratia costituita da setti).

## 5 VERIFICA PALANCOLATO ARGINALE

Le verifiche sono condotte considerando gli stati limiti SLU/SLV di tipo geotecnico (GEO) e strutturale (STR) con l'approccio 1 (con le combinazioni 1 e 2) sia nel caso di torrente in condizione di magra (pelo libero acqua basso) che in condizione di piena.

La zona è caratterizzata geologicamente come indicato nella relazione geologica, redatta nel giugno 2018 dal Dott. Geolog. Marco ZANICCHI, in particolare, a vantaggio di sicurezza, nelle verifiche si fa riferimento alla stratigrafia delle sez.62,63,64.

### Archivio materiali

#### CONGLOMERATI

Nr.	Classe calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.03	2.21
2	C25/30	30	31470	25	14.16	1.19	2.56
3	C28/35	35	32300	28	15.86	1.28	2.76
4	C32/40	40	35220	40	19.83	1.49	3.2

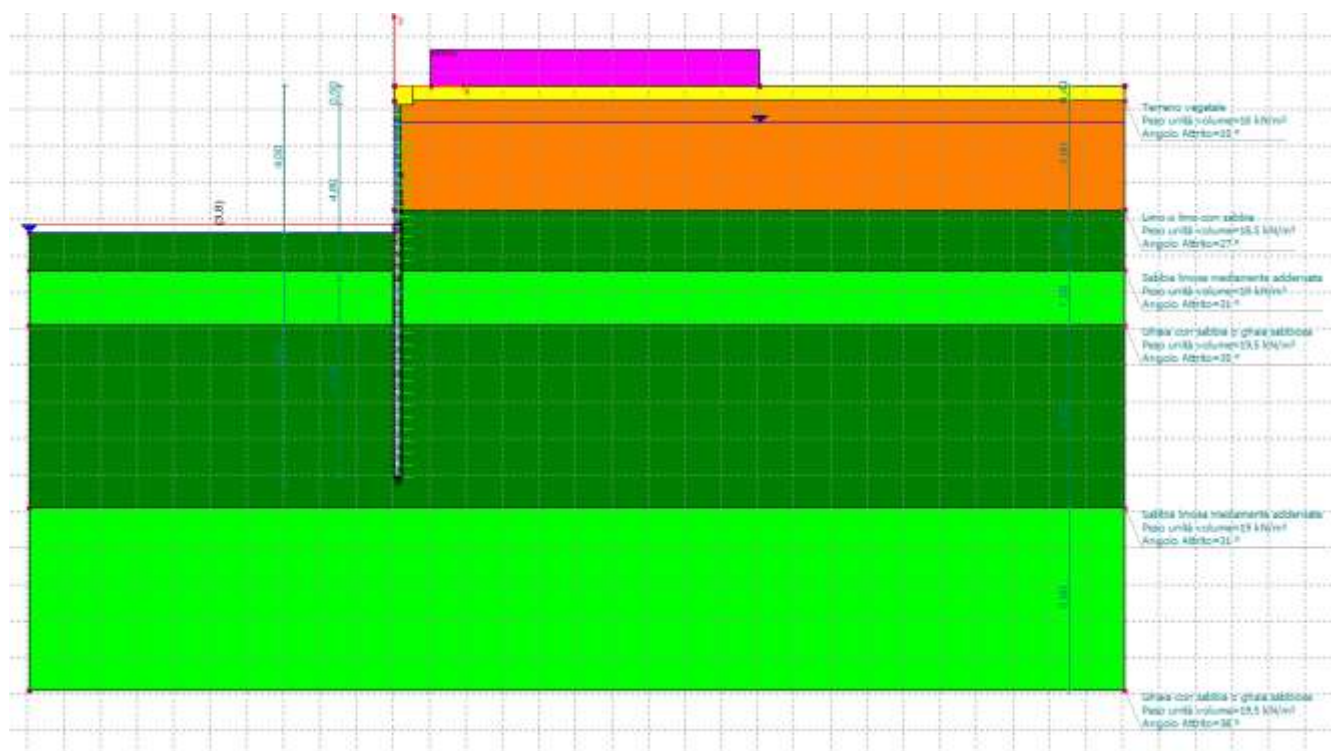
#### Acciai:

Nr.	Classe acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniz.	β1*β2 finale
1	B450C	200000	450	391.3	540	391.3	.075	.0675	1	0.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	0.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	0.05	0.04	1	0.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	0.05	0.04	1	0.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	0.05	0.04	1	0.5
6	C1860	200205	1600	1116	1860	1116	0.05	0.04	1	0.5

#### GEOMETRIA SEZIONE

Sezione	Input: A,E,I,G
Calcestruzzo per rivestimento paratia metallica	C32/40
Acciaio	S355
Nome	Larsenacelor paz5560
Area	0.00924 m <sup>2</sup> /m
Momento di inerzia	2.5054E-04 m <sup>4</sup> /m
Modulo elasticità	210000 MPa

La verifica del palancolato è stata eseguita nell'ipotesi di torrente in magra in quanto questa risulta essere la condizione più severa ai fini della verifica stessa.



### Dati generali FEM

Massimo spostamento lineare terreno	1,5 cm
Fattore tolleranza spostamento	0,03 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	20
Fattore riduzione molla fondo scavo	1
Profondità infissione iniziale	6,5 m
Incremento profondità infissione	0,2 m
Numero di elementi	36
Numero nodo di fondo scavo	16

### Stratigrafia

Fase: 1

Nr.	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Angolo attrito [°]	O.C.R.	Modulo edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra muro monte [°]	Attrito terra muro valle [°]	Spessore [m]	Inclinazione [°]	Descrizione



1	16,0	18,0	0,0	15,0	1,0	1470,0	10,0	10,0	0,4	0,0	Terreno vegetale
2	18,5	18,5	0,0	27,0	1,0	5000,0	18,67	18,67	3,0	0,0	Limo o limo con sabbia
3	19,0	19,0	15,0	31,0	1,0	10000,0	21,33	21,33	1,65	0,0	Sabbia limosa mediamente addensata
4	19,5	19,5	0,0	35,0	1,0	40000,0	24,0	24,0	1,5	0,0	Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa
5	19,0	19,0	15,0	31,0	1,0	12000,0	21,33	21,33	5,0	0,0	Sabbia limosa mediamente addensata
6	19,5	20,0	0,0	38,0	1,0	50000,0	24,0	24,0	5,0	0,0	Ghiaia con sabbia o ghiaia sabbiosa

### Calcolo coefficienti sismici

#### Dati generali

Descrizione zona  
Latitudine  
Longitudine

luni  
44,0639 [°]  
10,0361 [°]

#### Dati opera

Tipo opera  
Classe d'uso  
Vita nominale  
Vita di riferimento

Opere ordinarie  
III  
50 [anni]  
75 [anni]

#### Parametri sismici su un sito di riferimento

Categoria sottosuolo  
Categoria topografica

B  
T1

SL	Tr [Anni]	ag [m/sec <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TS* [sec]
SLO	45	0,52	2,51	0,25
SLD	75	0,64	2,52	0,26
SLV	712	1,52	2,39	0,30

SLC	1462	1,92	2,38	0,31
-----	------	------	------	------

### Coefficienti sismici orizzontale e verticale

Opera: SLC

SL	Amax [m/sec <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [-]
SLO	0,62	0,83	0,05	0,03
SLD	0,77	0,83	0,07	0,03
SLV	1,82	0,83	0,15	0,08
SLC	2,30	0,83	0,20	0,10

### Carichi

Fase: 1

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
edificio	Strisce	1	10	0	0	0	5

### Analisi Paratia Metodo calcolo: FEM

Profondità massima di infissione

6,7 [m]

### Fase: 1 Analisi geotecnica Fase: 1 - Combinazione: 1

Altezza scavo

3,8 [m]

Tipo:

S.L.U. [GEO-STR]

Nome:

A1+M1+R1

Coefficienti sismici:

Kh = 0,1544, Kv = 0,0772

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1,3
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0

6	edificio	1,3
---	----------	-----

#### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

#### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	102,97 [kPa]
Momento massimo	142,32 [kNm/m]
Taglio massimo	84,43 [kN/m]

#### Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	4,36	9,23	-0,07	-1,16	3,5574	--
0,51	6,90	6,13	-0,42	-2,88	3,3450	--
0,76	8,31	6,13	-1,19	-5,17	3,1325	--

1,01	9,76	10,13	-2,50	-7,93	2,9202	--
1,27	13,96	11,13	-4,48	-11,43	2,7081	--
1,52	18,11	12,13	-7,38	-15,96	2,4967	--
1,77	22,24	12,13	-11,43	-21,58	2,2862	--
2,03	26,36	13,13	-16,88	-28,39	2,0771	--
2,28	30,46	14,13	-24,07	-35,96	1,8702	--
2,53	34,57	15,13	-33,18	-44,69	1,6663	--
2,79	38,67	15,13	-44,50	-54,42	1,4666	--
3,04	42,77	16,13	-58,29	-65,26	1,2724	--
3,29	46,87	17,13	-74,81	-77,07	1,0856	--
3,55	49,07	16,13	-94,33	-84,43	0,9081	--
3,80	49,90	17,13	-115,71	-64,90	0,7423	26253,40
4,12	--	18,13	-136,42	-18,49	0,5541	26253,40
4,44	-102,97	20,13	-142,32	14,37	0,3922	26253,40
4,76	-67,75	21,13	-137,74	35,86	0,2581	26253,40
5,08	-36,94	22,13	-126,30	47,72	0,1508	24500,07
5,40	-16,72	22,13	-111,07	53,05	0,0682	24500,07
5,71	-1,84	22,13	-94,15	53,64	0,0075	24500,07
6,03	8,50	22,13	-77,03	50,93	-0,0347	24500,07
6,35	15,12	22,13	-60,78	46,07	-0,0617	24500,07
6,67	20,14	22,13	-46,08	39,69	-0,0767	26253,40
6,99	21,67	22,13	-33,42	32,77	-0,0825	26253,40
7,31	21,46	22,13	-22,97	25,92	-0,0817	26253,40
7,63	20,05	22,13	-14,70	19,53	-0,0764	26253,40
7,95	17,85	22,13	-8,47	13,83	-0,0680	26253,40
8,27	15,21	22,13	-4,05	8,98	-0,0579	26253,40
8,59	12,34	22,13	-1,19	5,04	-0,0470	26253,40

8,90	9,40	22,13	0,42	2,04	-0,0358	26253,40
9,22	6,47	22,13	1,07	-0,02	-0,0246	26253,40
9,54	3,59	22,13	1,07	-1,17	-0,0137	26253,40
9,86	0,77	22,13	0,69	-1,41	-0,0029	26253,40
10,18	-2,02	22,13	0,24	-0,77	0,0077	26253,40

## Fase: 1 - Combinazione: 2

### Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**3,8 [m]**

S.L.U. [GEO-STR]

A2+M2+R1

Kh = 0,1544, Kv = 0,0772

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	edificio	1

### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	79,43 [kPa]
Momento massimo	125,09 [kNm/m]
Taglio massimo	70,89 [kN/m]

### Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	3,59	9,23	-0,12	-0,56	3,9258	--
0,51	5,80	6,13	-0,33	-2,58	3,7078	--
0,76	7,20	7,13	-0,97	-4,53	3,4898	--
1,01	8,61	11,13	-2,11	-6,79	3,2720	--
1,27	11,97	12,13	-3,83	-9,76	3,0544	--
1,52	15,30	13,13	-6,31	-13,61	2,8372	--
1,77	18,61	14,13	-9,76	-18,38	2,6209	--
2,03	21,91	15,13	-14,41	-24,00	2,4059	--
2,28	25,21	16,13	-20,49	-30,23	2,1926	--
2,53	28,50	16,13	-28,15	-37,46	1,9819	--
2,79	31,78	17,13	-37,64	-45,46	1,7748	--
3,04	35,07	18,13	-49,15	-54,29	1,5724	--

3,29	38,36	19,13	-62,91	-63,98	1,3761	--
3,55	40,27	18,13	-79,11	-70,89	1,1876	--
3,80	41,19	19,13	-97,07	-59,70	1,0091	12885,77
4,12	--	21,13	-116,12	-26,75	0,8015	12885,77
4,44	-79,43	23,13	-124,65	-1,39	0,6164	12885,77
4,76	-58,71	25,13	-125,09	16,98	0,4556	12885,77
5,08	-31,42	26,13	-119,68	27,27	0,3192	9843,17
5,40	-20,31	26,13	-110,98	33,74	0,2063	9843,17
5,71	-11,34	26,13	-100,21	37,36	0,1152	9843,17
6,03	-4,31	26,13	-88,29	38,74	0,0437	9843,17
6,35	1,02	26,13	-75,93	38,40	-0,0103	9843,17
6,67	6,37	26,13	-63,68	36,41	-0,0495	12885,77
6,99	9,80	26,13	-52,06	33,28	-0,0760	12885,77
7,31	11,90	26,13	-41,45	29,48	-0,0923	12885,77
7,63	12,94	26,13	-32,04	25,36	-0,1004	12885,77
7,95	13,16	26,13	-23,95	21,16	-0,1021	12885,77
8,27	12,77	26,13	-17,20	17,08	-0,0991	12885,77
8,59	11,94	26,13	-11,75	13,27	-0,0927	12885,77
8,90	10,81	26,13	-7,51	9,82	-0,0839	12885,77
9,22	9,48	26,13	-4,38	6,80	-0,0736	12885,77
9,54	8,03	26,13	-2,21	4,23	-0,0623	12885,77
9,86	6,53	26,13	-0,86	2,15	-0,0507	12885,77
10,18	5,00	26,13	-0,18	0,55	-0,0388	12885,77

### Fase: 1 - Combinazione: 3

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

3,8 [m]

S.L.U. [GEO]

HYD

Coefficienti sismici:

$K_h = 0,1544$ ,  $K_v = 0,0772$

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,1
3	Spinta falda	1,1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	edificio	1

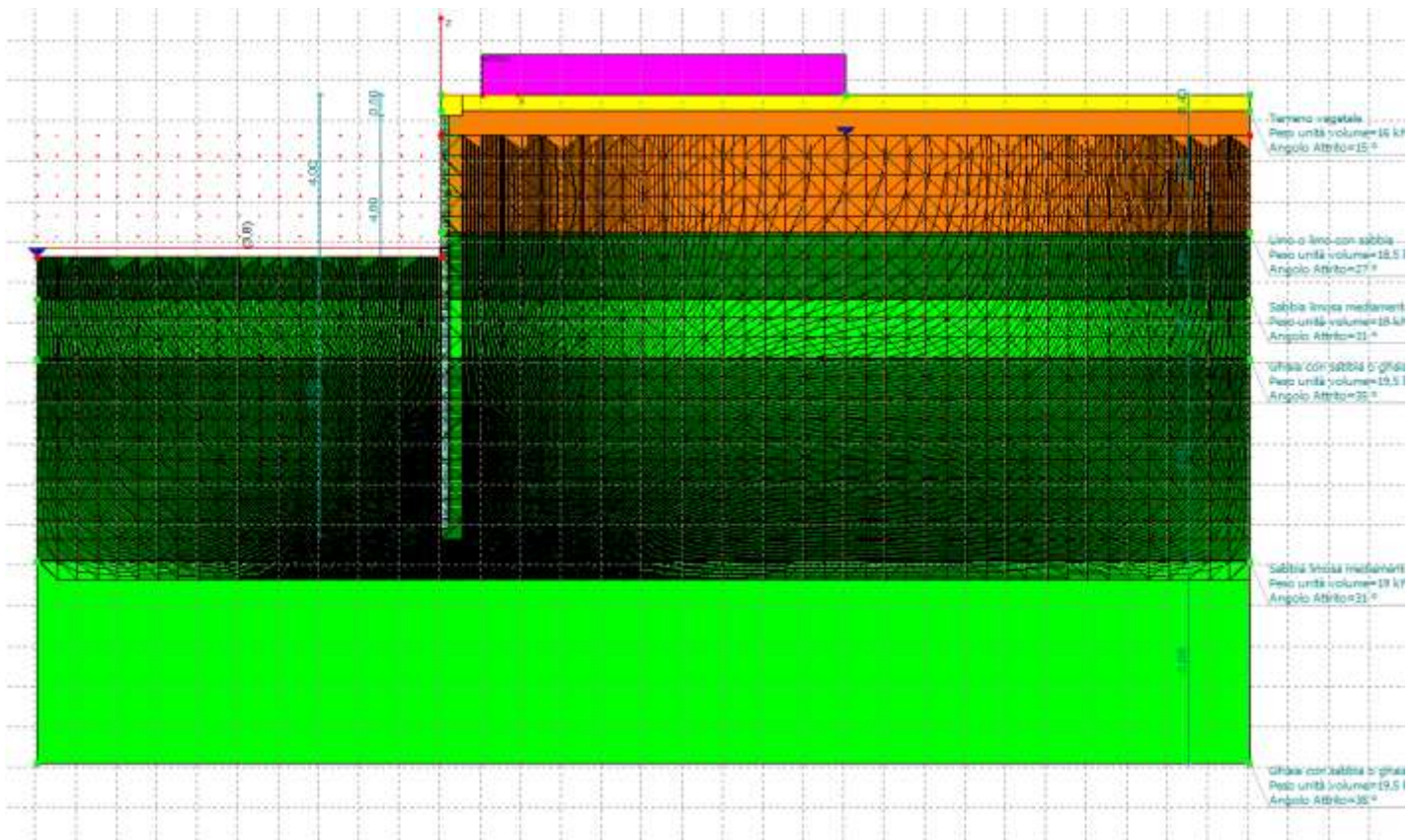
Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1





Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	86,70 [kPa]
<b>Gradiente critico</b>	<b>0,95</b>
<b>Gradiente idraulico</b>	<b>0,19</b>
<b>Fattore sicurezza a sifonamento</b>	<b>5,11</b>
<b>Fattore sicurezza sollevamento</b>	<b>3,45</b>

#### Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	3,83	9,23	-0,03	-1,23	4,2788	--
0,51	6,23	6,13	-0,40	-2,75	4,0414	--

0,76	7,75	7,13	-1,04	-4,86	3,8040	--
1,01	9,29	11,13	-2,26	-7,26	3,5667	--
1,27	12,99	12,13	-4,09	-10,55	3,3297	--
1,52	16,65	13,13	-6,77	-14,71	3,0932	--
1,77	20,30	14,13	-10,52	-19,85	2,8576	--
2,03	23,93	15,13	-15,54	-26,03	2,6233	--
2,28	27,56	16,13	-22,14	-32,86	2,3909	--
2,53	31,18	16,13	-30,47	-40,82	2,1614	--
2,79	34,81	17,13	-40,81	-49,45	1,9357	--
3,04	38,43	18,13	-53,34	-59,18	1,7151	--
3,29	42,05	19,13	-68,34	-69,80	1,5011	--
3,55	44,16	18,13	-86,03	-77,44	1,2957	--
3,80	45,17	19,13	-105,65	-65,29	1,1010	12885,77
4,12	--	21,13	-126,47	-29,29	0,8747	12885,77
4,44	-86,70	23,13	-135,82	-1,62	0,6728	12885,77
4,76	-64,10	25,13	-136,34	18,43	0,4974	12885,77
5,08	-34,32	26,13	-130,46	29,66	0,3487	9843,17
5,40	-22,20	26,13	-121,00	36,74	0,2255	9843,17
5,71	-12,41	26,13	-109,27	40,70	0,1261	9843,17
6,03	-4,73	26,13	-96,29	42,21	0,0481	9843,17
6,35	1,08	26,13	-82,82	41,86	-0,0110	9843,17
6,67	6,92	26,13	-69,47	39,69	-0,0537	12885,77
6,99	10,66	26,13	-56,80	36,29	-0,0827	12885,77
7,31	12,95	26,13	-45,23	32,16	-0,1005	12885,77
7,63	14,10	26,13	-34,97	27,66	-0,1094	12885,77
7,95	14,34	26,13	-26,14	23,08	-0,1113	12885,77
8,27	13,92	26,13	-18,78	18,64	-0,1081	12885,77

8,59	13,02	26,13	-12,83	14,48	-0,1011	12885,77
8,90	11,79	26,13	-8,21	10,72	-0,0915	12885,77
9,22	10,34	26,13	-4,79	7,42	-0,0803	12885,77
9,54	8,77	26,13	-2,42	4,62	-0,0680	12885,77
9,86	7,13	26,13	-0,94	2,35	-0,0553	12885,77
10,18	5,47	26,13	-0,19	0,61	-0,0424	12885,77

### Fase: 1 - Combinazione: 4 Sismica (SLV)

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**3,8 [m]**

S.L.U. [GEO-STR]

A\_unitari+M1+R3 (SLV)

Kh = 0,1544, Kv = 0,0772

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	edificio	1

### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1,35
2	Laterale compressione	1,15
3	Totale	1,3
4	Laterale trazione	1,25
5	Orizzontale	1,3

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	90,81 [kPa]
Momento massimo	131,03 [kNm/m]
Taglio massimo	73,12 [kN/m]

### Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	6,80	9,23	-0,16	-2,47	3,2797	--
0,51	8,72	6,13	-0,70	-4,86	3,0803	--
0,76	9,67	6,13	-1,91	-7,13	2,8809	--
1,01	10,60	10,13	-3,69	-9,92	2,6816	--
1,27	13,66	11,13	-6,20	-13,26	2,4828	--
1,52	16,68	12,13	-9,58	-17,48	2,2849	--
1,77	19,68	12,13	-14,01	-22,51	2,0881	--
2,03	22,67	13,13	-19,71	-28,29	1,8931	--
2,28	25,66	14,13	-26,88	-34,71	1,7005	--
2,53	28,64	15,13	-35,69	-41,94	1,5114	--
2,79	31,62	15,13	-46,31	-49,92	1,3267	--
3,04	34,36	16,13	-58,96	-58,61	1,1478	--

3,29	37,09	17,13	-73,80	-67,96	0,9762	--
3,55	38,39	16,13	-91,02	-73,12	0,8139	--
3,80	38,39	17,13	-109,54	-54,30	0,6629	26253,40
4,12	--	18,13	-126,86	-13,07	0,4921	26253,40
4,44	-90,81	20,13	-131,03	15,90	0,3459	26253,40
4,76	-59,12	21,13	-125,96	34,66	0,2252	26253,40
5,08	-31,62	22,13	-114,90	44,81	0,1291	24500,07
5,40	-13,59	22,13	-100,61	49,14	0,0555	24500,07
5,71	-0,40	22,13	-84,93	49,27	0,0016	24500,07
6,03	8,69	22,13	-69,21	46,50	-0,0355	24500,07
6,35	14,44	22,13	-54,37	41,86	-0,0590	24500,07
6,67	18,82	22,13	-41,02	35,89	-0,0717	26253,40
6,99	20,02	22,13	-29,57	29,51	-0,0763	26253,40
7,31	19,68	22,13	-20,15	23,23	-0,0749	26253,40
7,63	18,27	22,13	-12,74	17,40	-0,0696	26253,40
7,95	16,20	22,13	-7,19	12,23	-0,0617	26253,40
8,27	13,74	22,13	-3,29	7,84	-0,0523	26253,40
8,59	11,09	22,13	-0,79	4,31	-0,0422	26253,40
8,90	8,40	22,13	0,59	1,63	-0,0320	26253,40
9,22	5,72	22,13	1,11	-0,20	-0,0218	26253,40
9,54	3,10	22,13	1,04	-1,19	-0,0118	26253,40
9,86	0,54	22,13	0,66	-1,36	-0,0020	26253,40
10,18	-2,00	22,13	0,23	-0,72	0,0076	26253,40

## Verifica sezione palancoato

Tensione caratteristica di snervamento acciaio:



$$f_{yk} = 3550 \text{ daN/cm}^2$$

Modulo elastico acciaio:

$$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza acciaio:  $\gamma_s = 1.05$

Caratteristiche geometriche della palanca (a metro lineare):

$s = 6 \text{ mm}$  spessore,  $I = 25074 \text{ cm}^4/\text{m}$  momento d'inerzia,  $W_{el} = 1233 \text{ cm}^3/\text{m}$  modulo di resistenza.

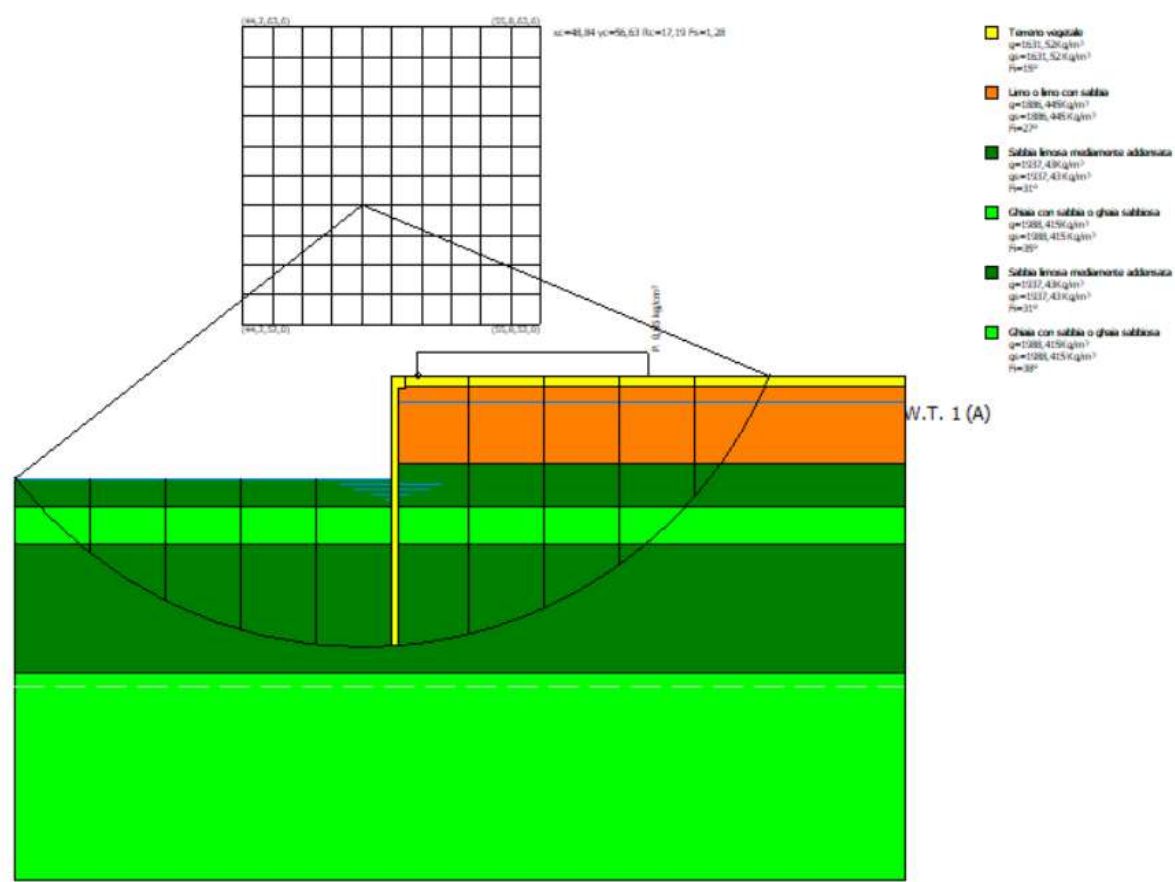
Sollecitazioni massima di calcolo:  $M_{slu} = 142,32 \text{ kNm/m}$  per combinazione (1) STR

### **Verifica di resistenza**

Tensione massima  $\Rightarrow \sigma = M_{slu} / W_{el} = 1154,26 \text{ daN/cm}^2 < f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 3381 \text{ daN/cm}^2 \Rightarrow \text{Verifica soddisfatta}$



VERIFICA STABILITA' GLOBALE DEL PALANCOLATO



Rappresentazione della superficie di rottura corrispondente al fattore di sicurezza minimo  $F_s = 1,16$

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,063944/10,036084
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	6,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	44,22 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	52,0 m

Ascissa vertice destro superiore xs	55,78 m
Ordinata vertice destro superiore ys	63,57 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

#### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,52	2,51	0,25
S.L.D.	75,0	0,64	2,52	0,26
S.L.V.	712,0	1,52	2,39	0,3
S.L.C.	1462,0	1,92	2,38	0,31

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe III
--------	------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,624	1,0	0,0636	0,0318
S.L.D.	0,768	1,0	0,0783	0,0392
S.L.V.	1,824	1,0	0,186	0,093
S.L.C.	2,304	1,0	0,235	0,1175

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,186
Coefficiente azione sismica verticale	0,093

#### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	35,3	46,0
2	50,0	46,0
3	50,0	50,0
4	60,0	50,0
5	70,0	50,0

#### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	35,3	46,0
2	50,0	46,0



3	50,0	49,0
4	70,0	49,0
<b>Vertici strato .....1</b>		
N	X (m)	y (m)
1	35,3	46,0
2	50,0	46,0
3	50,0	49,6
4	70,0	49,6
<b>Vertici strato .....2</b>		
N	X (m)	y (m)
1	35,3	46,0
2	50,0	46,0
3	50,0	46,6
4	70,0	46,6
<b>Vertici strato .....3</b>		
N	X (m)	y (m)
1	35,3	44,95
2	70,0	44,95
<b>Vertici strato .....4</b>		
N	X (m)	y (m)
1	35,3	43,45
2	70,0	43,45
<b>Vertici strato .....5</b>		
N	X (m)	y (m)
1	35,3	38,45
2	70,0	38,45

#### Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0
Coesione efficace	1,0
Coesione non drenata	1,0
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia
1	0		15	1631,52	1631,52	Terreno vegetale
2	0		27	1886,445	1886,445	Limo o limo con sabbia
3	0,152955		31	1937,43	1937,43	Sabbia

						limosa mediamente addensata	
4	0		35	1988,415	1988,415	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa	
5	0,152955		31	1937,43	1937,43	Sabbia limosa mediamente addensata	
6	0		38	1988,415	1988,415	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa	

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	51	50	60	50	0,050985

#### Risultati analisi pendio [A2+M2+R2 (Sisma)]

Fs minimo individuato	1,16
Ascissa centro superficie	50,0 m
Ordinata centro superficie	58,94 m
Raggio superficie	19,46 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 50,00 yc = 58,94 Rc = 19,456 Fs=1,159**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,18	-42,0	4,28	9888,19	1839,2	919,6	0,0	35,0	5058,5	11881,5	5979,4
2	3,18	-30,3	3,68	24229,89	4506,76	2253,38	0,15	31,01	2380,62	1490,2	13328,5
3	3,18	-19,8	3,38	3341,29	6201,48	3100,74	0,15	31,01	7083,52	2060,4	13244,1
4	3,18	-10,1	3,23	38558,67	7171,91	3585,96	0,15	31,01	9776,42	1348,9	12771,2
5	1,86	-2,6	1,86	23490,67	4369,26	2184,63	0,15	31,01	2051,41	11773,1	7125,7
6	4,51	6,8	4,54	91539,04	17026,26	8513,13	0,15	31,04	2267,64	6609,7	25118,1
7	3,18	18,5	3,35	59654,2	11095,68	5547,84	0,15	31,02	7098,92	8918,3	16175,5
8	3,18	28,8	3,63	50648,73	9420,66	4710,33	0,15	31,02	2692,42	4009,2	14358,3
9	3,18	40,3	4,17	36012,23	6698,28	3349,14	0,0	35,01	5782,41	8590,0	9355,4
10	3,18	54,5	5,48	15066,11	2802,3	1401,15	0,0	27,0	4977,5	11485,5	4206,0

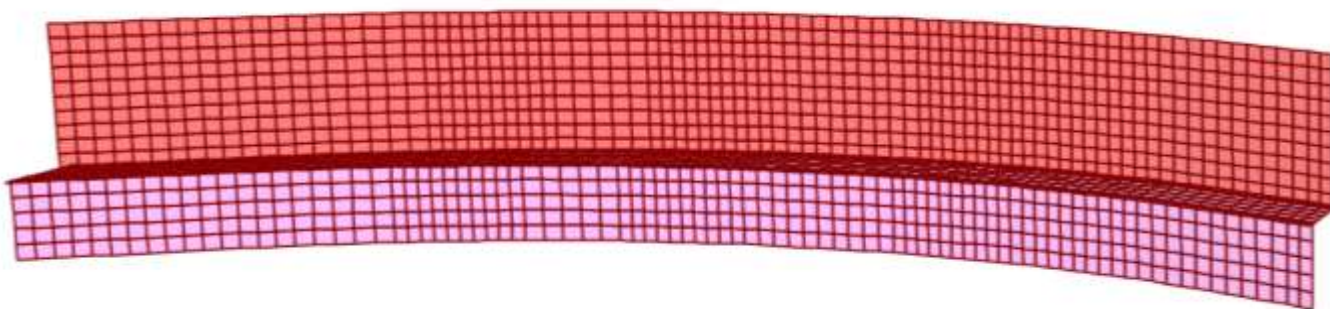
---

## 6 MURO in c.a. IN DESTRA a valle dei ponti

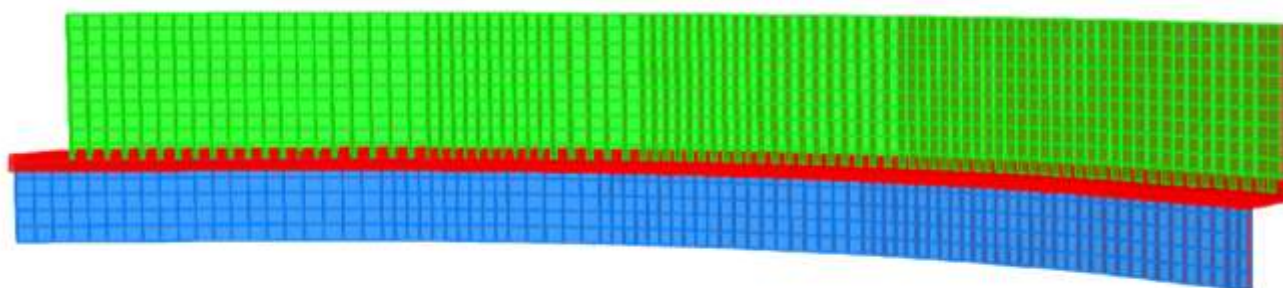
Lo studio della struttura è stato effettuato mediante un modello agli elementi finiti tridimensionale composto da elementi bidimensionali tipo shell.

Lo schema statico ed i carichi sono quelli riportati nelle figure seguenti, dove la soletta di fondazione risulta appoggiata su di un letto di molle elastiche con rigidezza tale da simulare il comportamento del terreno sottostante la fondazione stessa ( $k=5.0 \text{ daN/cm}^3$ ). L'interazione tra "taglione" (palancolato in acciaio) e terreno è modellata mediante molle elastiche caratterizzate da una opportuna rigidezza in compressione e non "reagenti" a trazione.

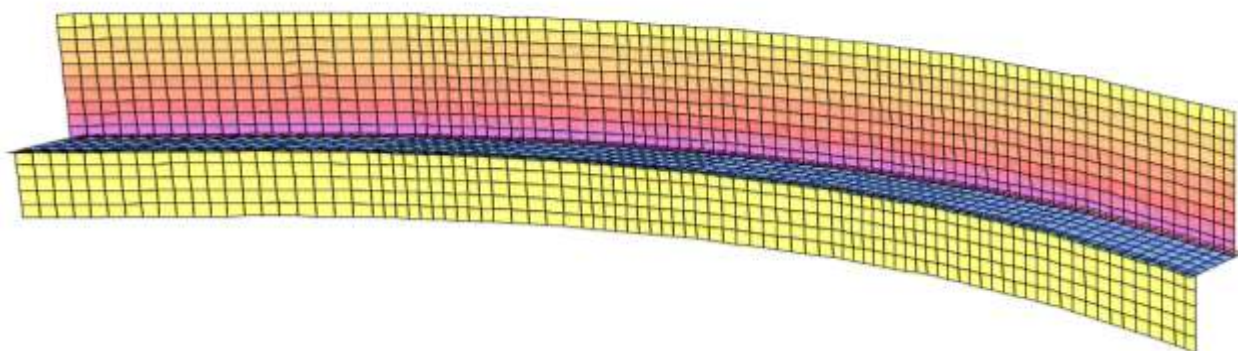
I modelli sono stati realizzati con il programma di calcolo *Sap 2000 NonLinear Plus v. 14.1.0* prodotto da Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave, Berkeley, CA 94704, distribuito da Brunetta e Brunetta Engineering s.r.l. Galleria San Marco- 33170 Pordenone, licenziato a Prof. Ing. Pietro Croce – STUDIO CROCE S.R.L., computer ID Key Serial Number 9A91 0804Y21506J27.



**Figura – modello di calcolo**



**Figura – vista estrusa del modello**



**Figura – distribuzione spinta dell'acqua**

Per il calcolo delle sollecitazioni sono state considerate le seguenti condizioni di carico elementari:

G1 = carichi permanenti strutturali

G2 = carichi permanenti non strutturali

QH20 = spinta dell'acqua

azione x = sisma in direzione X

azione y = sisma in direzione Y

Le condizioni di carico elementari sono state combinate secondo le combinazioni previste dalla normativa.

**Combinazioni impiegate:**

---

**(1) SLU\_fondamentale**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.5 QH2O$

**(2) SLV\_sismax**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.6 QH2O + 1.0 \text{ azione } x + 0.3 \text{ azione } y$

**(3) SLV\_sismay**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.6 QH2O + 0.3 \text{ azione } x + 1.0 \text{ azione } y$

**(4) SLU\_geotecnica**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.3 QH2O$

**(5) SLE\_rara**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.0 QH2O$

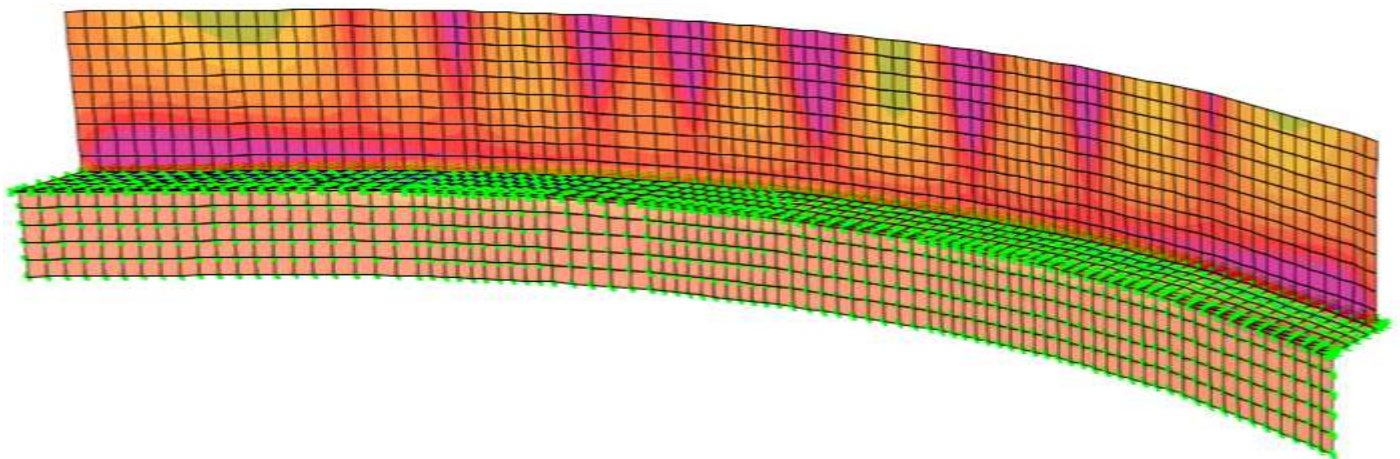
**(6) SLE\_frequente**

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.7 QH2O$

**Verifiche geotecniche (verifica a ribaltamento del muro in c.a.)**

La verifica a ribaltamento del muro di sostegno in c.a. è stata eseguita mediante il suddetto modello agli elementi finiti e risulta soddisfatta nei confronti della combinazione di carico SLU\_fondamentale (Approccio 2 - A1+M1+R3).

**Verifica paramento verticale, platea di fondazione e palancolato in acciaio**



**Figura – Momento  $M_{1-1}$  per combinazione (1) – Asse 1=Asse Orizzontale**

### Verifica SLU paramento verticale –armatura longitudinale

Geometria : b = 100cm base, h = 40cm altezza,  $A_f=5\phi 12$  (inf.),  $A_r=5\phi 12$  (sup.)

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1slu}=7750$  daNm/m per combinazione (1)

**Titolo :**

**N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	41

N°	As [cm²]	d [cm]
1	5.65	5
2	5.65	36

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

**N**   kN  
**M**   kNm  
**M**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   N/mm²  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   N/mm²  
 $\tau_{c1}$   N/mm²

**M**  kN m  
 $\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  cm x/d   
 $\delta$

**N° rett.**   
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>**  cm **Col. modello**  
☐ Precompresso

$M_{1-1slu}=7750 < M_{Rd}=85,28$  daNm/m momento resistente.

### Verifica SLE tensionale paramento verticale – armatura longitudinale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1sle}=6827$  daNm/m per combinazione (5)

La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0,80 = 15,94 \text{ N/mm}^2 > 5,60 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 \geq 360,0 \text{ N/mm}^2$

Momento di prima fessurazione (trascurando le armature):  $M_{1-1f} = 10412 \text{ daNm/m} > M_{1-1\text{slefrequente}} = 4820 \text{ daNm/m} \Rightarrow$  non si ha la formazione di fessure.

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1slu} = 6234 \text{ daNm/m}$  per combinazione (1)

$$M_{1-1slu} = 6234 < M_{Rd} = 10260 \text{ daNm/m momento resistente}$$



### Verifica SLE platea di fondazione

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1sle} = 5449 \text{ daNm/m}$  per combinazione (5)

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	4.52	5
2	4.52	55

**Sollecitazioni**  
☒ S.L.U. ☐ Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN  
M<sub>xEd</sub>  54.49 kNm  
M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
☒ B450C ☐ C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰  
E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
τ<sub>c1</sub>  N/mm²

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x  x/d   
δ

**Verifica**  
N° iterazioni:

☐ Precompresso

La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0.80 = 15,94 \text{ N/mm}^2 > 2,52 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 > 230,6 \text{ N/mm}^2$

### Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione – direzione longitudinale

- Direzione Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1slefrequente} = 1511 \text{ daNm/m}$  per combinazione (6)

Momento di prima fessurazione:  $M_{1-1f} = 22312 \text{ daNm/m} > M_{1-1slefrequente} = 1511 \text{ daNm/m} \Rightarrow$   
quindi non si ha la formazione di fessure.



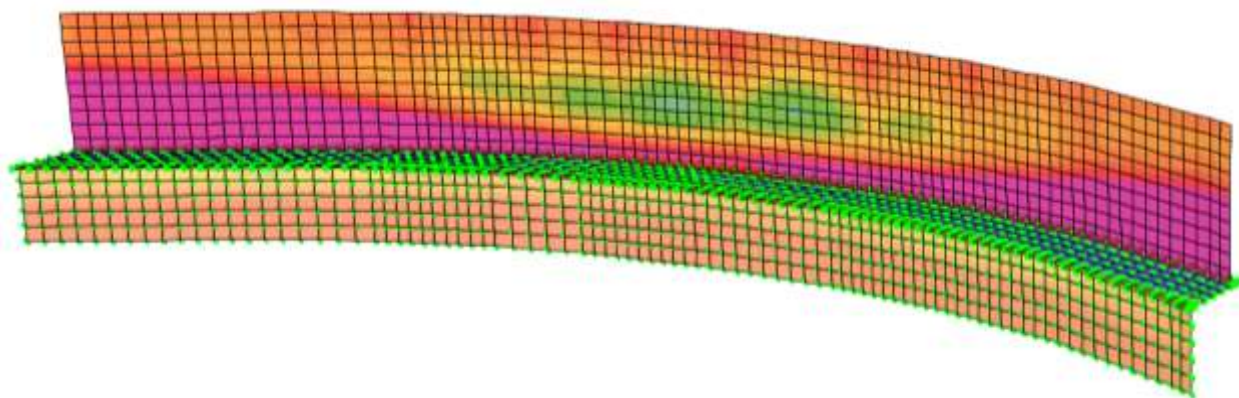


Figura – Momento  $M_{2-2}$  per combinazione (1) – Asse 2=Asse Verticale per paramento e taglione - Asse 2=Asse Trasversale per fondazione

### Verifica SLU paramento verticale – armatura trasversale

Geometria :  $b = 100\text{cm}$  base,  $h = 40\text{cm}$  altezza,  $A_f = 7\phi 16$  (inf.),  $A_f = 5\phi 16$  (sup.)

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1slu} = 20562 \text{ daNm/m}$  per combinazione (1)

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	14.07	45

**Sollecitazioni**

S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**

☒ Centro ☐ Baricentro cls

☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰

$f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰

$E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81

$E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?

$\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25

$\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333

$\tau_{cl}$  2.114

**Metodo di calcolo**

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☐ Metodo n

**Tipo flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>  cm Col. modello

☐ Precompresso

M<sub>xRd</sub> 241.3 kN m

$\sigma_c$  -18.81 N/mm²

$\sigma_s$  391.3 N/mm²

$\epsilon_c$  3.5 ‰

$\epsilon_s$  32.91 ‰

d 45 cm

x 4.326 x/d 0.09614

$\delta$  0.7

$M_{1-1slu} = 20562 < M_{Rd} = 24130 \text{ daNm/m}$  momento resistente

### Verifica SLE tensionale paramento verticale- armatura trasversale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1sle} = 18365 \text{ daNm/m}$  per combinazione (5)

The screenshot shows a software interface for structural analysis. It includes several input fields and tables. The 'Titolo' field is empty. The 'N° strati barre' is set to 2. The 'Tipo Sezione' is set to 'Rettan.re'. The 'S.L.U.' method is selected. The 'P.to applicazione N' is set to 'Centro'. The 'Metodo di calcolo' is set to 'Metodo n'. The 'Verifica' button is visible. The 'N° iterazioni' is set to 4. The 'Precompresso' checkbox is unchecked.

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	14.07	45

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**Materiali**

B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

$\sigma_c$  -6.972 N/mm²  
 $\sigma_s$  317.5 N/mm²  
 $\epsilon_s$  1.587 ‰  
d 45 cm  
x 11.15 x/d 0.2478  
 $\delta$  0.7497

**Verifica**

N° iterazioni: 4

☐ Precompresso

La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0.80 = 15,94 \text{ N/mm}^2 > 6,97 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 > 317,5 \text{ N/mm}^2$

### Verifica allo stato limite di apertura delle fessure paramento verticale – direzione trasversale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1sleffrequente} = 12897 \text{ daNm/m}$  per combinazione (6)

Momento di prima fessurazione:  $M_{1-1f} = 15494 \text{ daNm/m} > M_{1-1sleffrequente} = 12897 \text{ daNm/m} \Rightarrow$   
quindi non si ha la formazione di fessure.  $\Rightarrow$  **verifica soddisfatta**

### Verifica SLU platea di fondazione – armatura trasversale

Geometria: b = 100cm base, h = 60cm altezza,  $A_f = 6\phi 16$  (inf.),  $A_r = 6\phi 16$  (sup.)

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1slu} = 22346 \text{ daNm/m}$  per combinazione (1)

**Titolo :**

**N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	12.06	5
2	12.06	55

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.**  **Metodo n**

**N<sub>Ed</sub>**  **0** kN  
**M<sub>xEd</sub>**  **183.65** kNm  
**M<sub>yEd</sub>**  **0**

**P.to applicazione N**  
☒ **Centro** ☐ **Baricentro cls**  
☐ **Coord.[cm]** xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   ‰  
 $\tau_{cl}$   ‰

**M<sub>xRd</sub>**  kN m

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_c$   ‰  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$

**Tipo Sezione**  
☒ **Rettan.re** ☐ **Trapezi**  
☐ **a T** ☐ **Circolare**  
☐ **Rettangoli** ☐ **Coord.**

**Metodo di calcolo**  
☒ **S.L.U.+** ☐ **S.L.U.-**  
☒ **Metodo n**

**Tipo flessione**  
☒ **Retta** ☐ **Deviata**

**N° rett.**   
   
 L<sub>0</sub>  cm   
☐ **Precompresso**

$M_{1-1slu} = 22346 < M_{Rd} = 25670$  daNm/m momento resistente.

### Verifica SLE platea di fondazione – armatura trasversale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1sle} = 14852$  daNm/m per combinazione (5)

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	60

N°	As [cm²]	d [cm]
1	12.06	5
2	12.06	55

**Tipologia Sezione**  
☒ Rettang. re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

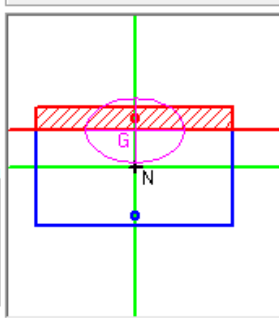
**Materiali**  
☒ B450C ☐ C32/40  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
 τ<sub>c1</sub>  N/mm²

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☐ Precompresso



La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0.80 = 15.94 \text{ N/mm}^2 > 4.28 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 > 241.6 \text{ N/mm}^2$

### Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione – direzione trasversale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{1-1\text{sleffrequente}} = 10979 \text{ daNm/m}$  per combinazione (6)

Momento di prima fessurazione:  $M_{1-1f} = 22312 \text{ daNm/m} > M_{1-1\text{sleffrequente}} = 10979 \text{ daNm/m} \Rightarrow$   
 quindi non si ha la formazione di fessure.

### Verifica SLU taglio realizzato con palancole ad U in acciaio S355

Tensione caratteristica di snervamento acciaio:

$$f_{yk} = 3550 \text{ daN/cm}^2$$

Modulo elastico acciaio:

$$E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$$

Coefficiente parziale di sicurezza acciaio:

$$\gamma_s = 1.05$$

Geometria palancola con sezione ad U :

b = 700 mm base, h = 400 mm cm altezza, s = 8 mm spessore, I = 24200 cm<sup>4</sup>/m momento d'inerzia,

W<sub>pl</sub> = 1460 cm<sup>3</sup>/m modulo di resistenza.

Sollecitazioni di calcolo: M<sub>1-1slu</sub> = 362600 daNcm/m per combinazione (1)

### **Verifica di resistenza**

Tensione massima =>  $\sigma = M_{1-1slu} / W_{pl} = 248 \text{ daN/cm}^2 < f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 3381 \text{ daN/cm}^2$

### **Verifica a sifonamento muro in destra**

#### **Stratigrafia**

Fase: 1

Nr.	Peso specifico [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico saturo [kN/m <sup>3</sup> ]	Coesione [kN/m <sup>2</sup> ]	Angolo attrito [°]	O.C.R.	Modulo edometrico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra muro monte [°]	Attrito terra muro valle [°]	Spessore [m]	Inclinazione [°]	Descrizione
1	10.0	20.0	0.0	36.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	
2	18.0	20.0	0.0	30.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.8	0.0	
3	18.1	20.0	0.0	25.0	0.0	5000.0	16.0	5.0	1.2	0.0	
4	18.6	20.0	0.0	30.0	0.0	10400.0	20.0	10.0	1.5	0.0	
5	18.2	20.0	0.0	26.0	0.0	6000.0	17.0	5.0	2.0	0.0	
6	19.0	20.0	0.0	33.0	0.0	13600.0	22.0	0.0	5.0	0.0	

#### **Metodo calcolo: FEM**

Profondità massima di infissione

4.70 [m]

**Fase: 1 Analisi geotecnica Fase: 1 - Combinazione: 1**

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

**3.6 [m]**

S.L.U. [STR-HYD]

A1+M1+R1

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1.3
3	Spinta falda	1.5
4	Spinta sismica x	1.5
5	Spinta sismica y	1

Coefficienti parziali terreno		
Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale		
Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	2.80 [m]
Gradiente critico	1.00
Gradiente idraulico	0.38
Fattore sicurezza a sifonamento	2.63
Fattore sicurezza sollevamento	2.38

#### Fase: 1 - Combinazione: 3

Altezza scavo	3.6 [m]
Tipo:	S.L.U. [HYD]
Nome:	HYD

#### Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1.1
3	Spinta falda	1.1
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1

Coefficienti parziali terreno		
Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1.25
2	Coesione efficace	1.25
3	Resistenza non drenata	1.4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale		
Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

---

Profondità di infissione	2.80 [m]
Gradiente critico	1.00
Gradiente idraulico	0.38
Fattore sicurezza a sifonamento	2.63
Fattore sicurezza sollevamento	2.38

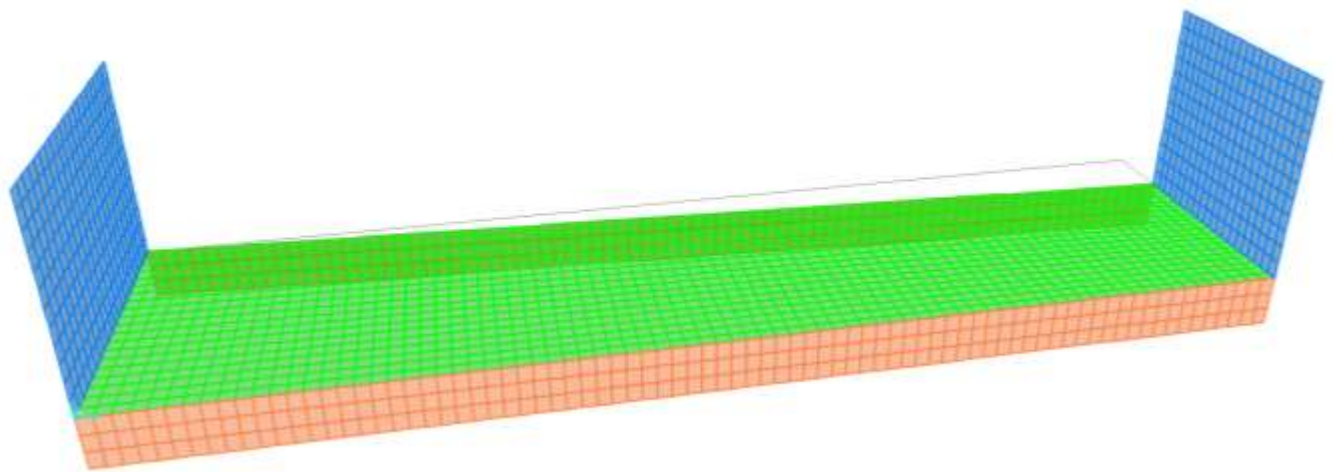
---

## 7 MODELLO STRUTTURALE TRATTO di collegamento

Lo studio della struttura è stato effettuato mediante un modello agli elementi finiti tridimensionale composto da elementi bidimensionali tipo shell.

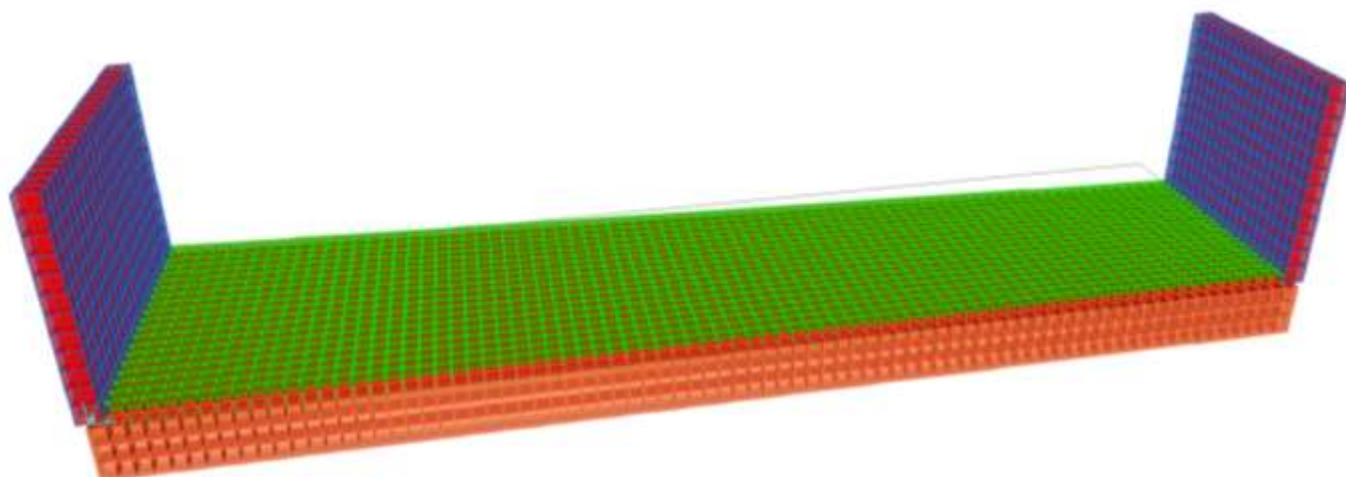
Lo schema statico ed i carichi sono quelli riportati nelle figure seguenti, dove la soletta di fondazione risulta appoggiata su di un letto di molle elastiche con rigidezza tale da simulare il comportamento del terreno sottostante la fondazione stessa ( $k=5.0 \text{ daN/cm}^3$ ).

I modelli sono stati realizzati con il programma di calcolo *Sap 2000 NonLinear Plus v. 14.1.0* prodotto da Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave, Berkeley, CA 94704, distribuito da Brunetta e Brunetta Engineering s.r.l. Galleria San Marco- 33170 Pordenone, licenziato a Prof. Ing. Pietro Croce – STUDIO CROCE S.R.L., computer ID Key Serial Number 9A91 0804Y21506J27.

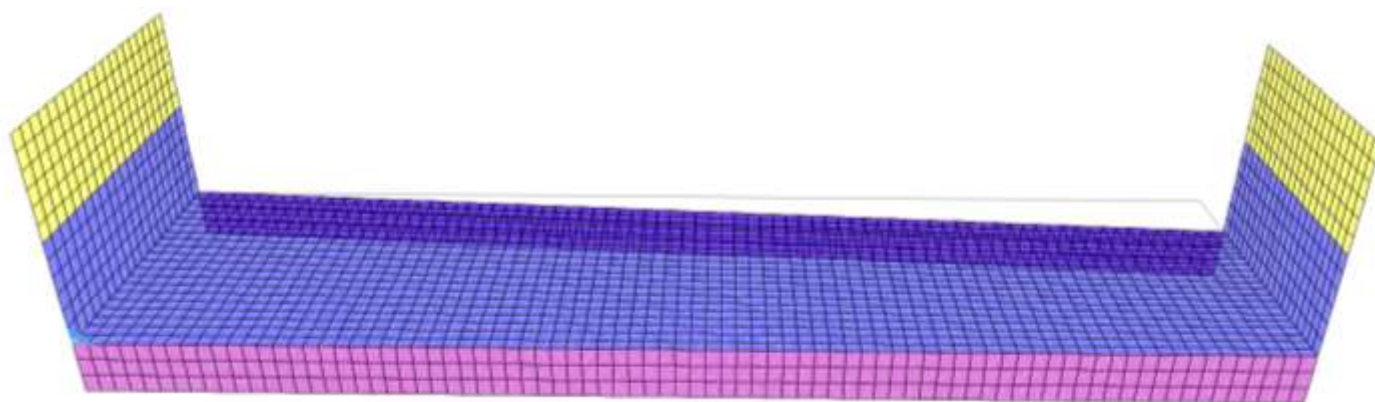


**Figura – modello di calcolo**

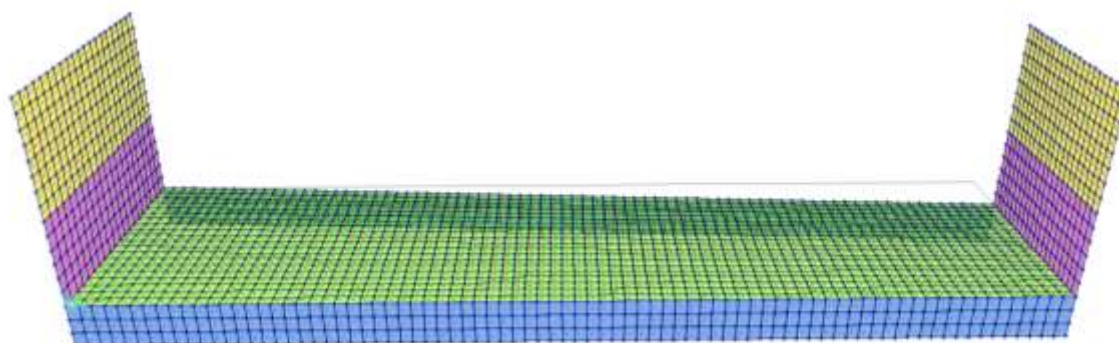




**Figura – vista estrusa del modello**



**Figura – distribuzione spinta dell'acqua (pieno)**



**Figura – distribuzione spinta dell'acqua (vuoto)**

---

## VERIFICA STRUTTURALI TRATTO DI COLLEGAMENTO

Per il calcolo delle sollecitazioni sono state considerate le seguenti condizioni di carico elementari:

G1 = carichi permanenti strutturali

G2 = carichi permanenti non strutturali

Qpieno = spinta dell'acqua sulle pareti laterali e sulla fondazione

Qvuoto = spinta esterna del terreno

azione x = sisma in direzione X

azione y = sisma in direzione Y

Le condizioni di carico elementari sono state combinate secondo le combinazioni previste dalla normativa.

### Combinazioni impiegate:

#### (1) SLU\_pieno

$$1.3 G1 + 1.3 G2 + 1.5 Q_{\text{pieno}}$$

#### (2) SLU\_vuoto

$$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.5 Q_{\text{vuoto}}$$

#### (3) SLV\_sismax

$$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.6 Q_{\text{pieno}} + 1.0 \text{ azione x} + 0.3 \text{ azione y}$$

#### (4) SLV\_sismay

$$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.6 Q_{\text{pieno}} + 0.3 \text{ azione x} + 1.0 \text{ azione y}$$

#### (5) SLU\_geotecnica

$$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.3 Q_{\text{pieno}}$$

#### (6) SLE\_rara

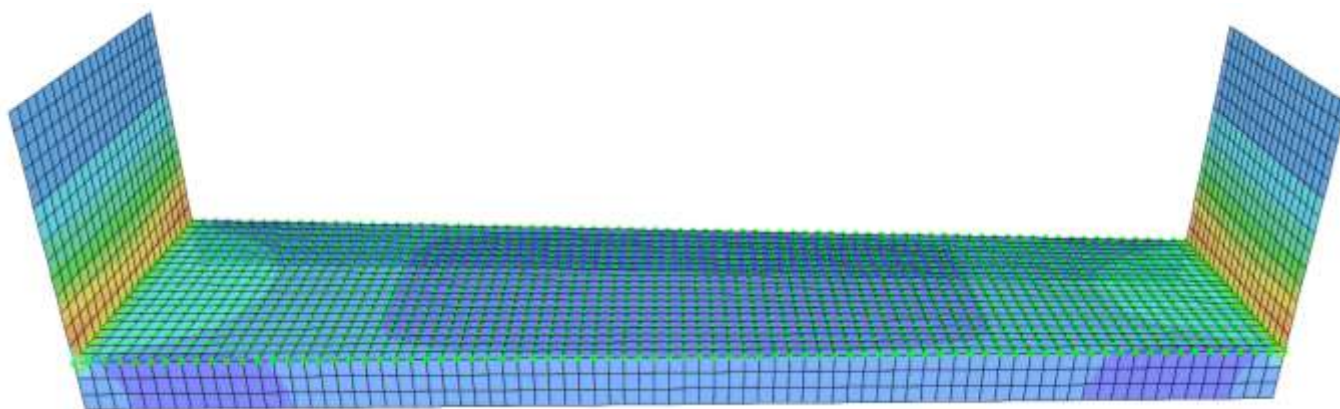
$$1.0 G1 + 1.0 G2 + 1.0 Q_{\text{pieno}}$$

---

### (7) SLE\_frequente

$1.0 G1 + 1.0 G2 + 0.7 Q_{\text{pieno}}$

### Verifica paramento verticale e platea di fondazione



**Figura – Momento flettente per combinazione (1) – Lungo l'Asse Orizzontale per la platea e lungo l'Asse Verticale per il paramento**

### Verifica SLU paramento verticale

Geometria :  $b = 100\text{cm}$  base,  $h = 40\text{cm}$  altezza,  $A_f = 10\phi 16$ ,  $A_r = 5\phi 16$

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{\text{slu}} = 24500 \text{ daNm/m}$  per combinazione (1)

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	20.11	35

**Sollecitazioni**

S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

**Materiali**

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²

τ<sub>c1</sub>  N/mm²

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Tipo Sezione**

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

**Tipo flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd

o  cm Col. modello

☐ Precompresso

$M_{1-slu} = 24500 < M_{Rd} = 25840$  daNm/m momento resistente.

### Verifica SLE tensionale paramento verticale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{sle} = 16800$  daNm/m per combinazione (6)

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	20.11	35

**Sollecitazioni**

S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

**Materiali**

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²

τ<sub>c1</sub>  N/mm²

**Tipo Sezione**

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

**Verifica**

N° iterazioni:

☐ Precompresso

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0.80 = 15,93 \text{ N/mm}^2 > 8,40 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 > 268,6 \text{ N/mm}^2$

### Verifica allo stato limite di apertura delle fessure paramento verticale

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{sleffrequente} = 11500 \text{ daNm/m}$  per combinazione (7)

Momento di prima fessurazione:  $M_{1-f} = 9916 \text{ daNm/m} < M_{sleffrequente} = 11500 \text{ daNm/m} \Rightarrow$  quindi si ha la formazione di fessure. Verifica della fessurazione senza calcolo diretto (C4.1.2.2.4 – Circolare e febbraio 2019 n°7/C.S.LL.PP.). Per apertura limite  $w_3 = 0.4\text{mm}$  e  $\sigma_s = 280\text{N/mm}^2 > 183,3\text{N/mm}^2$ , per diametro barre  $\phi 16$ , spaziatura limite delle barre  $100\text{mm} \geq 100\text{mm}$  e  $\sigma_s = 360\text{N/mm}^2 > 183,3\text{N/mm}^2 \Rightarrow$  **verifica soddisfatta**

**Titolo :**

**N° strati barre**  **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	5
2	20.11	35

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☐ Metodo n ☐

**N**   kN  
**M**   kNm  
**M**

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   ‰  
 $\tau_{c1}$   ‰

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 $\delta$

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☐ Precompresso

### Verifica SLU platea di fondazione

Geometria : b = 100cm base, h = 40cm altezza,  $A_f = 10\phi 16$ ,  $A_r = 10\phi 16$

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{slu} = 24400 \text{ daNm/m}$  per combinazione (1)

Titolo :

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	20.11	35

Sollecitazioni

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>  kN

M<sub>xEd</sub>  kNm

M<sub>yEd</sub>  kNm

Materiali

B450C C32/40

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²

τ<sub>c1</sub>  N/mm²

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>xRd</sub>  kN m

σ<sub>c</sub>  N/mm²

ε<sub>c</sub>  ‰

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

Tipo Sezione

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

Metodo di calcolo

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☐ Metodo n

Tipo flessione

☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.

Calcola MRd

o  cm

☐ Precompresso

$M_{I-Isu} = 24400 < M_{Rd} = 25840$  daNm/m momento resistente.

### Verifica SLE platea di fondazione

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{sle} = 16300$  daNm/m per combinazione (6)

**Titolo :**

N° strati barre  Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	20.11	35

**Sollecitazioni**

S.L.U.  Metodo n

N<sub>Ed</sub>   kN

M<sub>xEd</sub>   kNm

M<sub>yEd</sub>

**Materiali**

**B450C** **C32/40**

ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰

f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰

E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  ‰

E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?

ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²

σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²

τ<sub>c1</sub>  N/mm²

σ<sub>c</sub>  N/mm²

σ<sub>s</sub>  N/mm²

ε<sub>s</sub>  ‰

d  cm

x  x/d  δ

**Tipo Sezione**

☒ Rettan.re ☐ Trapezi

☐ a T ☐ Circolare

☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**

☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-

☒ Metodo n

**Verifica**

N° iterazioni:

☐ Precompresso

La tensione limite nel cls per combinazione rara è  $0.60 f_{ck} \times 0.8 = 15,93.0 \text{ N/mm}^2 > 7,58 \text{ N/mm}^2$

La tensione limite nell'acciaio per combinazione rara è  $0.80 f_{yk} = 360.0 \text{ N/mm}^2 > 260,5 \text{ N/mm}^2$

### Verifica allo stato limite di apertura delle fessure platea di fondazione

Sollecitazioni di calcolo:  $M_{slefrequente} = 11100 \text{ daNm/m}$  per combinazione (7)

Momento di prima fessurazione:  $M_{1-1f} = 9916 \text{ daNm/m} < M_{slefrequente} = 11100 \text{ daNm/m} \Rightarrow$  quindi si ha la formazione di fessure. Verifica della fessurazione senza calcolo diretto ( C4.1.2.2.4 – Circolare e febbraio 2019 n°7/C.S.LL.PP.). Per apertura limite  $w_3 = 0.4\text{mm}$  e  $\sigma_s = 280\text{N/mm}^2 > 177,4 \text{ N/mm}^2$  , diametro barre  $\phi 16$ , spaziatura limite delle barre  $100\text{mm} \geq 100\text{mm}$  e  $\sigma_s = 360\text{N/mm}^2 > 177,4\text{N/mm}^2 \Rightarrow$  **verifica soddisfatta**

**Titolo :**

**N° strati barre** 2 **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	40

N°	As [cm²]	d [cm]
1	20.11	5
2	20.11	35

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. **Metodo n**

**N** Ed 0 0 kN  
**M** xEd 0 111 kNm  
**M** yEd 0 0

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18.81 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333 N/mm²  
 $\tau_{c1}$  2.114 N/mm²

$\sigma_c$  -5.159 N/mm²  
 $\sigma_s$  177.4 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0.8868 ‰  
 d 35 cm  
 x 10.63 x/d 0.3038  
 $\delta$  0.8197

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
 N° iterazioni: 4

☐ Precompresso



## 8 VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI DELLA BERLINESE

### Archivio materiali

#### CONGLOMERATI

Nr.	Classe calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fed [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	25	29960	20	11.33	1.03	2.21
2	C25/30	30	31470	25	14.16	1.19	2.56
3	C28/35	35	32300	28	15.86	1.28	2.76
4	C32/40	40	35220	40	19.83	1.49	3.2

#### Acciai:

Nr.	Classe acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	β1*β2 iniz.	β1*β2 finale
1	B450C	200000	450	391.3	540	391.3	.075	.0675	1	0.5
2	B450C*	200000	450	391.3	540	450	.05	.04	1	0.5
3	S235H	210000	235	204.35	360	204.35	0.05	0.04	1	0.5
4	S275H	210000	275	239.13	430	239.13	0.05	0.04	1	0.5
5	S355H	210000	355	308.7	510	308.7	0.05	0.04	1	0.5
6	C1860	200205	1600	1116	1860	1116	0.05	0.04	1	0.5

#### GEOMETRIA SEZIONE TRAVE DI SOMMITA'

Sezione	Rettangolare
Calcestruzzo	C20/25
Acciaio	B450C
Nome	RECT 0,5x0,5
Sez. rett.	B=0,5 H=0,5 m

#### GEOMETRIA SEZIONE COMPOSTA MICROPALI PARETE IN CA

Sezione	Input: A,E,I,G
Calcestruzzo	C25/30
Acciaio	B450C
Nome	Composta
Area	0,388 m <sup>2</sup> /m
Momento di inerzia	0,0052 m <sup>4</sup> /m
Modulo elasticità	30000 MPa

#### GEOMETRIA SEZIONE MICROPALI

Sezione	Circolare Barre
Calcestruzzo per iniezioni ripetute e selettive	>C20/25
Acciaio tubolare	S355
Nome	sezione 300 mic--
Diametro	0,3 m
Disposizione	Singola fila
Interasse Iy	0,6 m

### Dati generali FEM

Massimo spostamento lineare terreno	1,5 cm
Fattore tolleranza spostamento	0,03 cm
Tipo analisi	Lineare
Massimo numero di iterazioni	20
Fattore riduzione molla fondo scavo	1
Profondità infissione iniziale	6,5 m
Incremento profondità infissione	0,2 m
Numero di elementi	36
Numero nodo di fondo scavo	16

### Stratigrafia

Fase: 1

Nr.	Peso specifi co [kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifi co satur o [kN/m <sup>3</sup> ]	Coesi one [kN/m <sup>2</sup> ]	Angol o attrito [°]	O.C.R.	Modul o edomet rico [kN/m <sup>2</sup> ]	Attrito terra muro monte [°]	Attrito terra muro valle [°]	Spesso re [m]	Inclina zione [°]	Descrizione
1	18,0	18,5	0,0	26,0	1,0	2000,0	10,0	10,0	3,0	0,0	Terreno vegetale
2	18,5	18,5	0,0	28,0	1,0	6000,0	18,67	18,67	4,0	0,0	Limo o limo con sabbia
3	18,5	19,0	15,0	31,0	1,0	10000,0	21,33	21,33	1,65	0,0	Sabbia limosa mediamente addensata
4	19,5	19,5	0,0	35,0	1,0	40000,0	24,0	24,0	1,5	0,0	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa
5	19,0	19,0	15,0	31,0	1,0	10000,0	21,33	21,33	5,0	0,0	Sabbia limosa mediamente addensata
6	19,5	20,0	0,0	38,0	1,0	50000,0	24,0	24,0	5,0	0,0	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa

---

### Calcolo coefficienti sismici

#### Dati generali

Descrizione zona	Ortonovo
Latitudine	44,0639 [°]
Longitudine	10,0361 [°]

#### Dati opera

Tipo opera	Opere ordinarie
Classe d'uso	III
Vita nominale	50 [anni]
Vita di riferimento	75 [anni]

#### Parametri sismici su un sito di riferimento

Categoria sottosuolo	B
Categoria topografica	T1

SL	Tr [Anni]	ag [m/sec <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TS* [sec]
SLO	45	0,52	2,51	0,25
SLD	75	0,64	2,52	0,26
SLV	712	1,52	2,39	0,30
SLC	1462	1,92	2,38	0,31

#### Coefficienti sismici orizzontale e verticale

Opera: SLC

SL	Amax [m/sec <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [-]
SLO	0,62	0,74	0,05	0,02
SLD	0,77	0,74	0,06	0,03
SLV	1,82	0,74	0,14	0,07
SLC	2,30	0,74	0,17	0,09

### Carichi

Fase: 1

Descrizione	Tipo	Xi [m]	Xf [m]	Yi [m]	Yf [m]	Profondità [m]	Valore [kN]-[kPa]
edificio	Strisce	1,82	11,82	-1,82	-1,82	0	20

### Analisi Paratia Metodo calcolo: FEM

Profondità massima di infissione

6,7 [m]

### Fase: 1 Analisi geotecnica Fase: 1 - Combinazione: 1

Altezza scavo

3,8 [m]

Tipo:

S.L.U. [GEO-STR]

Nome:

A1+M1+R1

Coefficienti sismici:

Kh = 0,1376, Kv = 0,0688

Coefficienti parziali azioni

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1,3
2	Spinta terreno	1,3
3	Spinta falda	1,3
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	edificio	1,3

### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	78,71 [kPa]
Momento massimo	186,34 [kNm/m]
Taglio massimo	95,93 [kN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	2,10	7,03	-0,05	-0,36	3,0843	--
0,51	4,19	3,92	-0,15	-1,74	2,9422	--
0,76	6,29	3,92	-0,57	-3,63	2,8002	--
1,01	8,50	5,92	-1,45	-5,78	2,6582	--
1,27	12,78	5,92	-2,96	-8,58	2,5162	--
1,52	17,07	6,92	-5,14	-12,99	2,3744	--
1,77	22,92	6,92	-8,44	-19,24	2,2328	--
2,03	29,00	7,92	-13,31	-26,32	2,0916	--
2,28	34,82	7,92	-20,02	-34,98	1,9509	--
2,53	40,32	8,92	-28,86	-45,30	1,8110	--
2,79	45,50	8,92	-40,33	-57,00	1,6724	--
3,04	50,36	12,92	-54,75	-69,55	1,5354	--
3,29	54,75	14,92	-72,39	-83,30	1,4007	--

---

3,55	58,98	15,92	-93,48	-95,93	1,2691	--
3,80	63,07	16,92	-117,77	-93,48	1,1412	
4,12	--	18,92	-147,60	-64,08	0,9873	
4,44	-78,71	20,92	-168,05	-39,01	0,8428	
4,76	-66,23	21,92	-180,50	-17,89	0,7093	
5,08	-54,86	23,92	-186,21	-0,42	0,5874	
5,40	-44,61	41,51	-186,34	13,83	0,4777	
5,71	-35,49	44,43	-181,93	25,14	0,3800	
6,03	-27,47	46,35	-173,91	33,88	0,2942	
6,35	-20,51	49,27	-163,10	40,41	0,2197	
6,67	-14,55	52,19	-150,20	45,05	0,1558	
6,99	-9,50	54,11	-135,83	48,52	0,1017	
7,31	-14,61	43,03	-120,35	52,93	0,0564	
7,63	-4,92	43,96	-103,46	54,50	0,0190	
7,95	3,02	44,88	-86,08	53,54	-0,0116	
8,27	9,50	45,80	-68,99	50,51	-0,0367	
8,59	14,81	46,72	-52,88	45,80	-0,0572	
8,90	18,20	47,64	-38,27	39,97	-0,0743	
9,22	21,77	48,56	-25,52	33,03	-0,0888	
9,54	24,92	49,49	-14,98	25,08	-0,1017	
9,86	27,82	50,41	-6,98	16,14	-0,1136	
10,18	32,80	51,33	-1,83	5,73	-0,1249	

Verifica SLU micropalo

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 20 [cm]  
 Raggio interno: 0 [cm]  
 N° barre uguali: 135  
 Diametro barre: 0.630000 [cm]  
 Copriferro (baric.): 9 [cm]

N° barre: 0 Zoom

**Tipologia Sezione**

☐ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☒ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub>: 0 kN  
 M<sub>xEd</sub>: 0 kNm  
 M<sub>yEd</sub>: 0 kNm

**P.to applicazione N**

☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

**Tipologia rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

S355 C20/25

$\epsilon_{su}$ : 67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$ : 2 ‰  
 $f_{yd}$ : 338.1 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$ : 3.5 ‰  
 $E_s$ : 200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$ : 11.33  
 $E_s/E_c$ : 15  $f_{cc}/f_{cd}$ : 0.8 ?  
 $\epsilon_{syd}$ : 1.691 ‰  $\sigma_{c,adm}$ : 8.5  
 $\sigma_{s,adm}$ : 240 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$ : 0.5333  
 $\tau_{c1}$ : 1.686

M<sub>xRd</sub>: 127.7 kNm

$\sigma_c$ : -11.33 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$ : 338.1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$ : 3.5 ‰  
 $\epsilon_s$ : 3.289 ‰  
 d: 31 cm  
 x: 15.98 x/d: 0.5155  
 $\delta$ : 1

**Metodo di calcolo**

☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipologia flessione**

☒ Retta ☐ Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub>: 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Momento sollecitante Comb 1 relativo al singolo micropalo  $M_{Ed} = 186,34x_{iy} = 186,84 \times 0,60 = 111,80 \text{ kNm} < M_{Rd} = 127,70 \text{ kNm}$  = momento resistente della sezione: si considera resistente una sezione di diametro 40 cm corrispondente al diametro del bulbo ( $D_{bulbo}/D_{fusto} = 1,33$ )

## Fase: 1 - Combinazione: 2

Altezza scavo

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

3,8 [m]

S.L.U. [GEO-STR]

A2+M2+R1

$K_h = 0,1376$ ,  $K_v = 0,0688$

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1

3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	edificio	1

#### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

#### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	59,28 [kPa]
Momento massimo	166,95 [kNm/m]
Taglio massimo	80,05 [KN/m]

#### Sollecitazioni

Z	Pressioni totali terreno	Sforzo normale	Momento	Taglio	Spostamento	Modulo reazione
---	-----------------------------	-------------------	---------	--------	-------------	--------------------



[m]	[kPa]	[kN/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[cm]	[kN/m³]
0,25	1,94	7,03	-0,05	-0,10	3,8804	--
0,51	3,87	3,92	-0,18	-1,55	3,7185	--
0,76	5,81	4,92	-0,52	-3,39	3,5565	--
1,01	7,82	5,92	-1,35	-5,49	3,3946	--
1,27	11,27	6,92	-2,80	-7,64	3,2327	--
1,52	14,72	6,92	-4,69	-11,71	3,0710	--
1,77	19,38	7,92	-7,66	-16,98	2,9095	--
2,03	24,21	7,92	-11,94	-22,90	2,7482	--
2,28	28,83	8,92	-17,73	-30,01	2,5875	--
2,53	33,22	8,92	-25,29	-38,55	2,4275	--
2,79	37,35	9,92	-35,03	-48,13	2,2686	--
3,04	41,24	13,92	-47,17	-58,50	2,1111	--
3,29	44,79	15,92	-62,02	-69,39	1,9556	--
3,55	48,21	17,92	-79,60	-80,05	1,8027	
3,80	51,52	18,92	-99,90	-79,81	1,6531	
4,12	--	20,92	-125,38	-58,46	1,4706	
4,44	-59,28	23,92	-144,04	-39,67	1,2962	
4,76	-51,73	25,92	-156,70	-23,16	1,1311	
5,08	-44,64	27,92	-164,10	-8,95	0,9762	
5,40	-38,05	45,51	-166,95	3,16	0,8319	
5,71	-31,95	48,43	-165,93	13,35	0,6986	
6,03	-26,34	51,35	-161,68	21,73	0,5760	
6,35	-21,21	54,27	-154,74	28,49	0,4639	
6,67	-16,55	57,19	-145,65	33,76	0,3619	
6,99	-12,32	61,11	-134,88	38,26	0,2694	
7,31	-23,59	46,03	-122,68	45,40	0,1856	
7,63	-13,96	46,96	-108,19	49,85	0,1099	

7,95	-5,23	47,88	-92,29	51,51	0,0412	
8,27	2,74	48,80	-75,85	50,65	-0,0215	
8,59	10,08	49,72	-59,70	47,49	-0,0793	
8,90	13,10	50,64	-44,54	43,21	-0,1331	
9,22	18,11	51,56	-30,76	37,43	-0,1840	
9,54	22,93	52,49	-18,82	30,10	-0,2329	
9,86	27,61	53,41	-9,21	21,04	-0,2805	
10,18	42,21	54,33	-2,50	7,85	-0,3275	

### Verifica SLU micropalo

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**Sezione circolare cava**

Raggio esterno: 20 [cm]  
Raggio interno: 0 [cm]  
N° barre uguali: 135  
Diametro barre: 0.630000 [cm]  
Copriferro (baric.): 9 [cm]

**Sollecitazioni**

S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

**P.to applicazione N**

Centro Baricentro cls  
Coord.[cm] xN 0 yN 0

**Tipo rottura**

Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**

S355 C20/25

$\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  338.1 N/mm<sup>2</sup>  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200,000 N/mm<sup>2</sup>  $f_{cd}$  11.33 N/mm<sup>2</sup>  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.691 ‰  $\sigma_{c,adm}$  8.5 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_{s,adm}$  240 N/mm<sup>2</sup>  $\tau_{co}$  0.5333  
 $\tau_{c1}$  1.686

**M<sub>xRd</sub>** 127.7 kN m

$\sigma_c$  -11.33 N/mm<sup>2</sup>  
 $\sigma_s$  338.1 N/mm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  3.289 ‰  
d 31 cm  
x 15.98 x/d 0.5155  
 $\delta$  1

**Tipo Sezione**

Rettan.re Trapezi  
a T Circolare  
Rettangoli Coord.

**Metodo di calcolo**

S.L.U.+ S.L.U.-  
Metodo n

**Tipo flessione**

Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Momento sollecitante Comb 1 relativo al singolo micropalo  $M_{Ed} = 166,95x i_y = 166,95x0,60 = 100,17 \text{ kNm} < M_{Rd} = 127,70 \text{ kNm}$  = momento resistente della sezione: si considera resistente una sezione di diametro 40 cm corrispondente al diametro del bulbo ( $D_{bulbo}/D_{fusto} = 1,33$ )

### Fase: 1 - Combinazione: 3

**Altezza scavo**

Tipo:

Nome:

Coefficienti sismici:

Coefficienti parziali azioni

**3,8 [m]**

S.L.U. [HYD]

HYD

$K_h = 0,1376$ ,  $K_v = 0,0688$

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1,1
3	Spinta falda	1,1
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	edificio	1

### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1,25
2	Coesione efficace	1,25
3	Resistenza non drenata	1,4
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1

3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	71,91 [kPa]
Momento massimo	208,27 [kNm/m]
Taglio massimo	96,14 [KN/m]
Gradiente critico	0,94
<b>Gradiente idraulico</b>	<b>0,19</b>
<b>Fattore sicurezza a sifonamento</b>	<b>5,10</b>
<b>Fattore sicurezza sollevamento</b>	<b>3,46</b>

#### Fase: 1 - Combinazione: 4

<b>Altezza scavo</b>	<b>3,8 [m]</b>
Tipo:	S.L.U. [GEO-STR]
Nome:	<b>Nuova combinazione</b>

#### SLE

Coefficienti sismici:	Kh = 0,1376, Kv = 0,0688
Coefficienti parziali azioni	

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	0
5	Spinta sismica y	0
6	edificio	1

#### Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

5	Angolo di attrito terra parete	1
---	--------------------------------	---

#### Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1
2	Laterale compressione	1
3	Totale	1
4	Laterale trazione	1
5	Orizzontale	1

Profondità di infissione	6,70 [m]
Pressione massima terreno	60,54 [kPa]
Momento massimo	143,33 [kNm/m]
Taglio massimo	73,79 [kN/m]

#### Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	1,61	7,03	0,01	-0,53	<b>2,3725</b>	--
0,51	3,22	3,92	-0,17	-0,92	2,2633	--
0,76	4,84	3,92	-0,45	-2,64	2,1540	--
1,01	6,54	5,92	-1,13	-4,29	2,0448	--
1,27	9,83	5,92	-2,25	-6,76	1,9356	--
1,52	13,13	6,92	-3,97	-9,95	1,8265	--
1,77	17,63	6,92	-6,47	-14,82	1,7176	--
2,03	22,31	7,92	-10,23	-20,42	1,6089	--
2,28	26,79	7,92	-15,38	-27,01	1,5007	--
2,53	31,02	8,92	-22,20	-34,90	1,3931	--
2,79	35,00	8,92	-31,03	-43,83	1,2865	--

3,04	38,74	12,92	-42,12	-53,50	1,1811	--
3,29	42,12	14,92	-55,68	-64,08	1,0775	--
3,55	45,37	15,92	-71,91	-73,79	0,9762	--
3,80	48,52	16,92	-90,61	-71,85	0,8779	
4,12	--	18,92	-113,54	-49,30	0,7594	
4,44	-60,54	20,92	-129,27	-30,00	0,6483	
4,76	-50,95	21,92	-138,85	-13,75	0,5456	
5,08	-42,20	23,92	-143,24	-0,32	0,4519	
5,40	-34,31	41,51	-143,33	10,62	0,3674	
5,71	-27,30	44,43	-139,94	19,33	0,2923	
6,03	-21,13	46,35	-133,78	26,06	0,2263	
6,35	-15,78	49,27	-125,46	31,09	0,1690	
6,67	-11,19	52,19	-115,54	34,65	0,1198	
6,99	-7,30	54,11	-104,49	37,33	0,0782	
7,31	-11,24	43,03	-92,58	40,71	0,0434	
7,63	-3,79	43,96	-79,59	41,92	0,0146	
7,95	2,32	44,88	-66,21	41,18	-0,0090	
8,27	7,31	45,80	-53,07	38,85	-0,0282	
8,59	11,40	46,72	-40,68	35,23	-0,0440	
8,90	14,00	47,64	-29,44	30,74	-0,0572	
9,22	16,74	48,56	-19,63	25,41	-0,0683	
9,54	19,17	49,49	-11,52	19,29	-0,0782	
9,86	21,40	50,41	-5,37	12,42	-0,0874	
10,18	25,23	51,33	-1,41	4,42	-0,0961	

**Fase: 1 - Combinazione: 5 SISMICA SLV**

**Altezza scavo**  
Tipo:

**3,8 [m]**  
**S.L.V. [STR]**

Nome:  
Coefficienti sismici:  
Coefficienti parziali azioni

A\_unitari+M1+R3  
Kh = 0,1376, Kv = 0,0688

Nr.	Azioni	Fattori combinazione
1	Peso proprio	1
2	Spinta terreno	1
3	Spinta falda	1
4	Spinta sismica x	1
5	Spinta sismica y	1
6	edificio	1

Coefficienti parziali terreno

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo resistenza taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1
5	Angolo di attrito terra parete	1

Coefficienti resistenze capacità portante verticale

Nr.	Capacità portante	Coefficienti resistenze
1	Punta	1,35
2	Laterale compressione	1,15
3	Totale	1,3
4	Laterale trazione	1,25
5	Orizzontale	1,3

Profondità di infissione  
Pressione massima terreno

6,70 [m]  
67,62 [kPa]

Momento massimo

165,07 [kNm/m]

Taglio massimo

81,43 [kN/m]

Sollecitazioni

Z [m]	Pressioni totali terreno [kPa]	Sforzo normale [kN/m]	Momento [kNm/m]	Taglio [kN/m]	Spostamento [cm]	Modulo reazione [kN/m³]
0,25	4,66	7,03	-0,14	-1,65	2,7090	--
0,51	6,22	3,92	-0,56	-3,19	2,5822	--
0,76	7,71	3,92	-1,32	-5,48	2,4554	--
1,01	9,35	5,92	-2,69	-7,77	2,3287	--
1,27	12,53	5,92	-4,72	-10,64	2,2021	--
1,52	15,75	6,92	-7,41	-14,65	2,0757	--
1,77	20,06	6,92	-11,14	-20,12	1,9496	--
2,03	24,55	7,92	-16,25	-26,22	1,8240	--
2,28	28,84	7,92	-22,89	-33,34	1,6990	--
2,53	32,88	8,92	-31,32	-41,85	1,5750	--
2,79	36,68	8,92	-41,90	-51,09	1,4523	--
3,04	40,00	12,92	-54,86	-61,04	1,3314	--
3,29	42,96	14,92	-70,34	-71,98	1,2127	--
3,55	45,79	15,92	-88,57	-81,43	1,0969	--
3,80	48,52	16,92	-109,19	-78,04	0,9848	9338,40
4,12	--	18,92	-134,10	-52,77	0,8501	9338,40
4,44	-67,62	20,92	-150,93	-31,16	0,7241	9338,40
4,76	-56,76	21,92	-160,88	-13,12	0,6078	9338,40
5,08	-46,87	23,92	-165,07	1,84	0,5020	9338,40
5,40	-37,99	41,51	-164,49	13,96	0,4068	9338,40
5,71	-30,11	44,43	-160,03	23,54	0,3224	9338,40
6,03	-23,20	46,35	-152,52	30,94	0,2484	9338,40

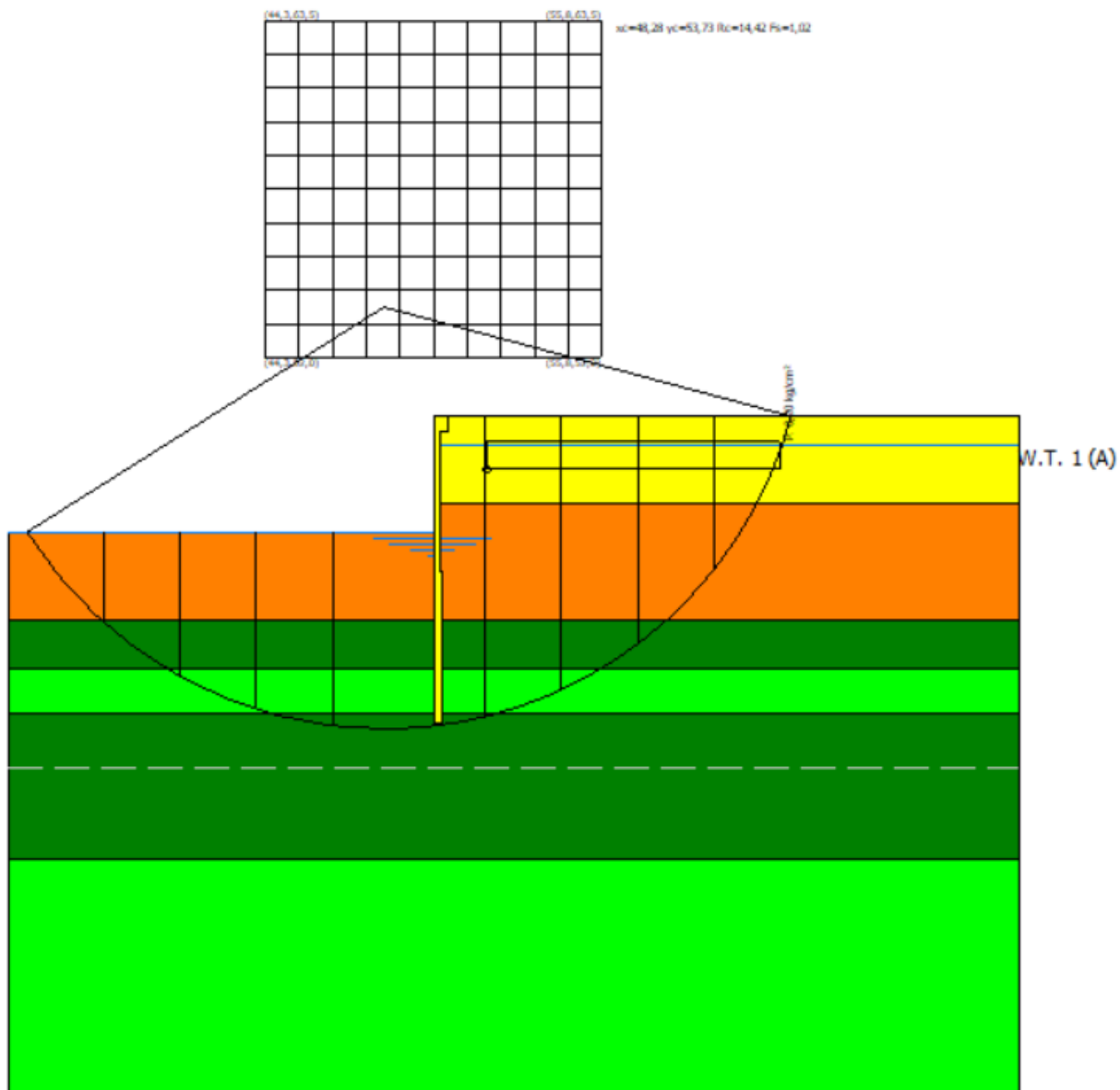


---

6,35	-17,21	49,27	-142,65	36,42	0,1843	9338,40
6,67	-12,09	52,19	-131,03	40,27	0,1295	9338,40
6,99	-7,77	54,11	-118,18	43,12	0,0833	9338,40
7,31	-11,57	43,03	-104,42	46,61	0,0447	25884,93
7,63	-3,35	43,96	-89,55	47,68	0,0129	25884,93
7,95	3,36	44,88	-74,34	46,60	-0,0130	25884,93
8,27	8,82	45,80	-59,47	43,79	-0,0341	25884,93
8,59	13,26	46,72	-45,50	39,58	-0,0512	25884,93
8,90	16,03	47,64	-32,87	34,44	-0,0654	24500,07
9,22	18,98	48,56	-21,89	28,39	-0,0775	24500,07
9,54	21,57	49,49	-12,83	21,51	-0,0880	24500,07
9,86	23,95	50,41	-5,97	13,82	-0,0978	24500,07
10,18	28,11	51,33	-1,56	4,90	-0,1071	26253,40

Il momento sollecitante massimo relativo alla comb 5 sismica (SLV) è pari a 165,07 kNxm inferiore a  $M_{Ed} = 186,34$  corrispondente alla comb 1 (A1 M1 R1), pertanto la verifica risulta sempre soddisfatta.

## Verifica stabilità globale nel caso della berlinese



Rappresentazione della superficie di rottura corrispondente al fattore di sicurezza minimo  $F_s = 1,05$

#### Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,063944/10,036084
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	6,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,0
Coefficiente parziale resistenza	1,2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	44,25 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	52,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	55,75 m
Ordinata vertice destro superiore ys	63,5 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

#### Coefficienti sismici [N.T.C.]

##### Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe III
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	75,0 [anni]

##### Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	45,0	0,52	2,51	0,25
S.L.D.	75,0	0,64	2,52	0,26
S.L.V.	712,0	1,52	2,39	0,3
S.L.C.	1462,0	1,92	2,38	0,31

#### Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe III
--------	------------

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,624	1,0	0,0636	0,0318
S.L.D.	0,768	1,0	0,0783	0,0392
S.L.V.	1,824	1,0	0,186	0,093
S.L.C.	2,304	1,0	0,235	0,1175

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,186

Coefficiente azione sismica verticale 0,093

#### Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	35,5	46,0
2	50,0	46,0
3	50,0	50,0
4	60,0	50,0
5	70,0	50,0

#### Falda

Nr.	X (m)	y (m)
1	35,5	46,0

2	50,0	46,0				
3	50,0	49,0				
4	70,0	49,0				
Vertici strato .....1						
N	X (m)	y (m)				
1	35,5	46,0				
2	50,0	46,0				
3	50,0	47,0				
4	70,0	47,0				
Vertici strato .....2						
N	X (m)	y (m)				
1	35,5	43,0				
2	70,0	43,0				
Vertici strato .....3						
N	X (m)	y (m)				
1	35,5	41,35				
2	70,0	41,35				
Vertici strato .....4						
N	X (m)	y (m)				
1	35,5	39,85				
2	70,0	39,85				
Vertici strato .....5						
N	X (m)	y (m)				
1	35,5	34,85				
2	70,0	34,85				
Coeffidenti parziali azioni						
=====						
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0				
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0				
=====						
Coeffidenti parziali per i parametri geotecnici del terreno						
=====						
Tangente angolo di resistenza al taglio	1,0					
Coesione efficace	1,0					
Coesione non drenata	1,0					
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si					
=====						
Stratigrafia						
Strato	Coesione (kg/cm²)	Coesione non drenata (kg/cm²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m³)	Peso saturo (Kg/m³)	Litologia
1	0		26	1835,46	1835,46	Terreno vegetale
2	0		28	1886,445	1886,445	Limo o limo con sabbia
3	0,152955		31	1886,445	1886,445	Sabbia limosa mediamente

4	0	35	1988,415	1988,415	addensata Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa
5	0,152955	31	1937,43	1937,43	Sabbia limosa mediamente addensata
6	0	38	1988,415	1988,415	Ghiaia con sabbia o ghaia sabbiosa

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	51,82	48,18	61,82	48,18	0,20394

#### Risultati analisi pendio [A2+M2+R2 (Sisma)]

Fs minimo individuato	1,02
Ascissa centro superficie	48,28 m
Ordinata centro superficie	53,73 m
Raggio superficie	14,42 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio;  
Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di  
scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**xc = 48,275 yc = 53,725 Rc = 14,424 Fs=1,016**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2,61	-49,6	4,03	8624,22	1604,11	802,05	0,0	28,0	4571,7	12819,7	5591,6
2	2,61	-35,2	3,2	20333,6	3782,05	1891,02	0,15	31,0	10701,3	22409,8	15056,1
3	2,61	-23,2	2,84	27781,63	5167,38	2583,69	0,0	35,0	14484,0	19187,9	11021,4
4	2,61	-12,2	2,67	32059,06	5962,99	2981,49	0,15	31,0	16650,3	18463,8	12453,7
5	3,51	0,1	3,51	45288,34	8423,63	4211,82	0,15	31,0	23514,0	21753,1	15126,0
6	1,71	10,5	1,74	34148,5	6351,62	3175,81	0,15	31,0	16205,3	16346,2	10243,8
7	2,61	19,5	2,77	54298,59	10099,54	5049,77	0,0	35,0	23190,1	127422,8	15751,5
8	2,61	31,1	3,05	48045,27	8936,42	4468,21	0,0	35,0	19987,3	24335,5	13978,2
9	2,61	44,4	3,66	37973,02	7062,98	3531,49	0,0	28,0	14764,9	22766,8	9930,2
10	2,61	63,4	5,83	20379,08	3790,51	1895,26	0,0	28,0	5860,2	17325,1	7556,7