

# 3

## RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA: OPERE STRUTTURALI

# PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

Bergamo, 12 dicembre 2018

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Arch. Federico Giuseppe Mele

**IL PROGETTISTA**

Geom. Paolo Previtali

**IL PROGETTISTA DELLE STRUTTURE**

Ing. Fabio Ghisalberti

**IL GRUPPO DI LAVORO**

Geom. Paolo Previtali

Ing. Fabio Ghisalberti

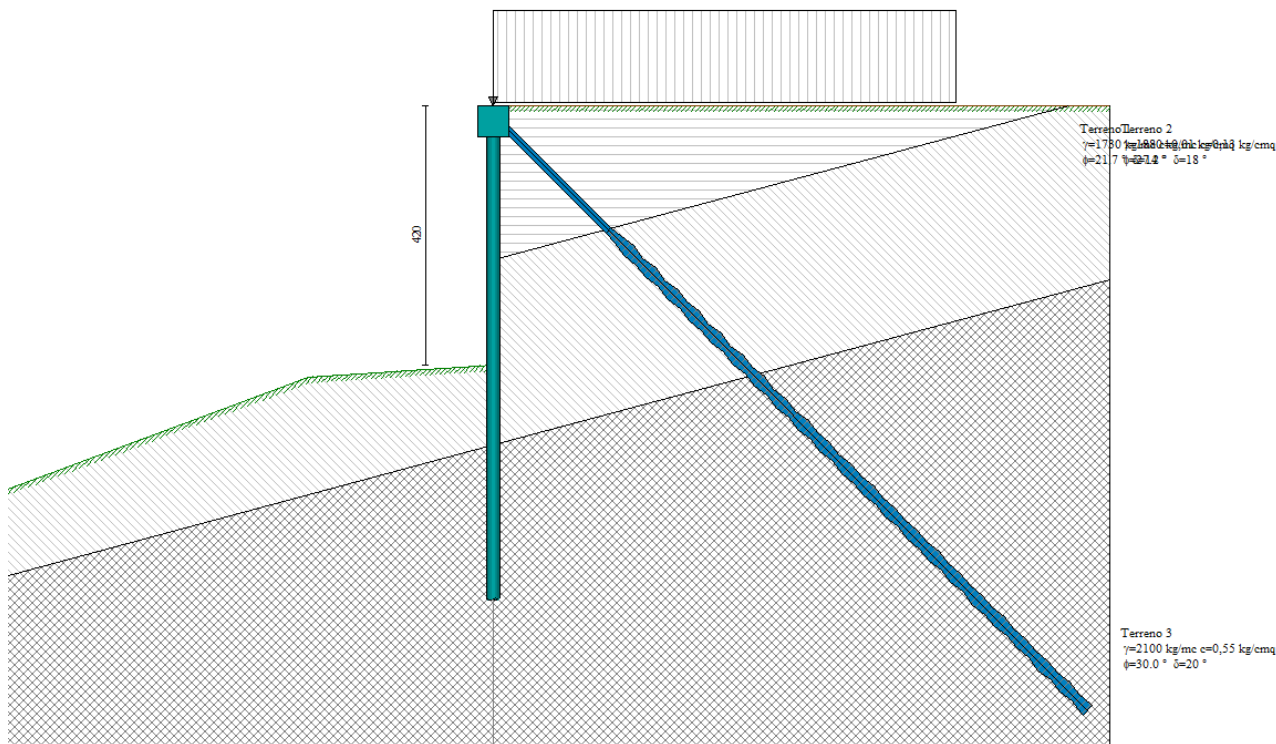
P.I. Leonello Pirola

Arch. Rossana Betelli

MANUTENZIONE STRAORDINARIA CON CONSOLIDAMENTO E RIFACIMENTO  
MURI DI SOSTEGNO SUI COLLI E IN CITTÀ ALTA - ANNO 2018  
via Sant'Alessandro

## Oggetto

Il progetto di "manutenzione straordinaria con consolidamento e rifacimento tratti di muri di sostegno sui colli e in Città Alta - anno 2018" prevede in particolare, dal punto di vista meramente strutturale, il consolidamento di un tratto di muro in via Sant'Alessandro, meglio individuato negli elaborati grafici di progetto. E' ottenuto mediante la realizzazione, a monte del paramento murario esistente, di una berlinese con tubolari di acciaio e tiranti di tipo attivo, in modo da scaricare le spinte del terreno e dei carichi variabili dal muro esistente. E' graficamente schematizzata nel seguente schema.



Per i dati geotecnici si è fatto riferimento alla relazione geologica e geotecnica della società Ecogeo srl del 7.6.2018, a firma dei geologi dott. Massimo Elitropi e dott. Roberto Caldarelli.

## Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.  
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.  
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.  
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.  
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 9 Gennaio 1996  
Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- D.M. 16 Gennaio 1996  
Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'.
- D.M. 16 Gennaio 1996  
Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.  
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996.
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.  
Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

**Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)**

## Richiami teorici

### Metodo di analisi

#### Calcolo della profondità di infissione

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

Nel caso di paratia tirantata nell'equilibrio della struttura intervengono gli sforzi dei tiranti (diretti verso monte); in questo caso, se la paratia non è sufficientemente infissa, la contropinta sarà assente.

Pertanto il primo passo da compiere nella progettazione è il calcolo della profondità di infissione necessaria ad assicurare l'equilibrio fra i carichi agenti (spinta attiva, resistenza passiva, contropinta, tiro dei tiranti ed eventuali carichi esterni).

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

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

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

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

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

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

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

Per mettere in conto un fattore di sicurezza nel calcolo delle profondità di infissione

si può agire con tre modalità :

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

### Calcolo della spinte

#### Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

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

La differenza sostanziale è che mentre Coulomb considera un terrapieno con superficie a pendenza costante e carico uniformemente distribuito (il che permette di ottenere una espressione in forma chiusa per il valore della spinta) il metodo di Culmann consente di analizzare situazioni con profilo di forma generica e carichi sia concentrati che distribuiti comunque disposti. Inoltre, rispetto al metodo di Coulomb, risulta più immediato e lineare tener conto della coesione del masso spingente. Il metodo di Culmann, nato come metodo essenzialmente grafico, si è evoluto per essere trattato mediante analisi numerica (noto in questa forma come metodo del cuneo di tentativo).

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

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

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

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

### Spinta in presenza di sisma

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

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

$$F_i = W \cdot C$$

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

$$DS = S - S_s$$

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

### Tiranti di ancoraggio

Le paratie possono essere tirantate, con tiranti attivi o con tiranti passivi, realizzati entrambi tramite perforazione e iniezione del foro con malta in pressione previa sistemazione delle armature opportune.

I tiranti attivi, contrariamente ai tiranti passivi, sono sottoposti ad uno sforzo di pretensione prendendo il contrasto sulla struttura stessa. Il tiro finale sul tirante attivo dipende sia dalla pretensione che dalla deformazione della struttura oltre che dalle cadute di tensione. Nel caso di tiranti passivi il tiro dipende unicamente dalla deformabilità della struttura. L'armatura dei tiranti attivi è costituita da trefoli ad alta resistenza (trefoli per c.a.p.), viceversa i tiranti passivi possono essere armati con trefoli o con tondini o, in alcuni casi, con profilati tubolari.

La capacità di resistenza dei tiranti è legata all'attrito e all'aderenza fra superficie del tirante e terreno.

### Calcolo della lunghezza di ancoraggio

La lunghezza di ancoraggio (fondazione) del tirante si calcola determinando la lunghezza massima atta a soddisfare le tre seguenti condizioni:

1. Lunghezza necessaria per garantire l'equilibrio fra tensione tangenziale che si sviluppa fra la superficie laterale del tirante ed il terreno e lo sforzo applicato al tirante;
2. Lunghezza necessaria a garantire l'aderenza malta-armatura;
3. Lunghezza necessaria a garantire la resistenza della malta.

Siano **N** lo sforzo nel tirante, **δ** l'angolo d'attrito tirante-terreno, **c<sub>a</sub>** l'adesione tirante-terreno, **γ** il peso di volume del terreno, **D** ed **L<sub>f</sub>** il diametro e la lunghezza di ancoraggio (o lunghezza efficace) del tirante ed **H** la profondità media al di sotto del piano campagna abbiamo la relazione

$$N = \pi D L_f \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio **L<sub>f</sub>**

$$L_f = \frac{N}{\pi D \gamma H K_s \operatorname{tg} \delta + \pi D c_a}$$

**K<sub>s</sub>** rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

$$K_s = K_0 = 1 - \sin \phi$$

Per quanto riguarda la seconda condizione, la lunghezza necessaria atta a garantire l'aderenza malta-armatura è data dalla relazione

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c0} \omega}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, **τ<sub>c0</sub>** è la resistenza tangenziale limite della malta ed **ω** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**ω = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo **f<sub>1,td</sub>**.

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di **L<sub>f</sub>** si deve aggiungere la lunghezza di franco **L** che rappresenta la lunghezza del tratto compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **β**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo **N<sub>0</sub>** al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$\beta = N_0 / N$$

### Analisi ad elementi finiti

La paratia è considerata come una struttura a prevalente sviluppo lineare (si fa riferimento ad un metro di larghezza) con comportamento a trave. Come caratteristiche geometriche della sezione si assume il momento d'inerzia **I** e l'area **A** per metro lineare di larghezza della paratia. Il modulo elastico è quello del materiale utilizzato per la paratia.

La parte fuori terra della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza pari a circa 5 centimetri e più o meno costante per tutti gli elementi. La suddivisione è suggerita anche dalla eventuale presenza di tiranti, carichi e vincoli. Infatti questi elementi devono capitare in corrispondenza di un nodo. Nel caso di tirante è inserito un ulteriore elemento atto a schematizzarlo. Detta **L** la lunghezza libera del tirante, **A<sub>f</sub>** l'area di armatura nel tirante ed **E<sub>s</sub>** il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad **L**, area **A<sub>f</sub>**, inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico **E<sub>s</sub>**. La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

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

### Schematizzazione del terreno

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

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

$$A_m = 10000 \times \frac{k \Delta_m}{E_m}$$

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

### Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

A questo punto vediamo come è effettuata l'analisi. Un tipo di analisi molto semplice e veloce sarebbe l'analisi elastica (peraltro disponibile nel programma **PAC**). Ma si intuisce che considerare il terreno con un comportamento infinitamente elastico è una approssimazione alquanto grossolana. Occorre quindi introdurre qualche correttivo che meglio ci aiuti a modellare il terreno. Fra le varie soluzioni possibili una delle più praticabili e che fornisce risultati soddisfacenti è quella di considerare il terreno con comportamento elasto-plastico perfetto. Si assume cioè che la curva sforzi-deformazioni del terreno abbia andamento bilatero. Rimane da scegliere il criterio di plasticizzazione del terreno (molle). Si può fare riferimento ad un criterio di tipo cinematico: la resistenza della molla cresce con la deformazione fino a quando lo spostamento non raggiunge il valore  $X_{max}$ ; una volta superato tale spostamento limite non si ha più incremento di resistenza all'aumentare degli spostamenti. Un altro criterio può essere di tipo statico: si assume che la molla abbia una resistenza crescente fino al raggiungimento di una pressione  $p_{max}$ . Tale pressione  $p_{max}$  può essere imposta pari al valore della pressione passiva in corrispondenza della quota della molla. D'altronde un ulteriore criterio si può ottenere dalla combinazione dei due descritti precedentemente: plasticizzazione o per raggiungimento dello spostamento limite o per raggiungimento della pressione passiva. Dal punto di vista strettamente numerico è chiaro che l'introduzione di criteri di plasticizzazione porta ad analisi di tipo non lineare (non linearità meccaniche). Questo comporta un aggravio computazionale non indifferente. L'entità di tale aggravio dipende poi dalla particolare tecnica adottata per la soluzione. Nel caso di analisi elastica lineare il problema si risolve immediatamente con la soluzione del sistema fondamentale ( $K$  matrice di rigidezza,  $u$  vettore degli spostamenti nodali,  $p$  vettore dei carichi nodali)

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale  $p_0$ , fino a raggiungere il carico totale  $p$ . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riasssemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riasssemblaggio e la decomposizione della matrice, ma usano la matrice elastica iniziale (*metodo di Riks*).

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

### Verifica alla stabilità globale

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

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

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

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

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + [W_i \cos \alpha_i - u_i] \tan \phi_i \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

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

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

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

## Dati

### Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	4,20	[m]
Profondità di infissione	3,80	[m]
Altezza totale della paratia	8,00	[m]
Lunghezza paratia	v. disegno	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,35	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	33	
Numero di micropali per metro lineare	2.75	
Diametro esterno del tubolare	114,00	[mm]
Spessore del tubolare	8,00	[mm]

### Geometria cordoli

*Simbologia adottata*

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

*Cordoli in calcestruzzo*

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

*Cordoli in acciaio*

A	Area della sezione in acciaio del cordolo espresso in [cmq]
W	Modulo di resistenza della sezione del cordolo espresso in [cm <sup>3</sup> ]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm <sup>3</sup> ]
1	0,00	Calcestruzzo	50,00	50,00	--	--

### Geometria profilo terreno

*Simbologia adottata e sistema di riferimento*

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

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

#### Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	10,00	0,00	0.00

#### Profilo di valle

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-7,00	0.00
2	-3,00	-4,40	0.00
3	0,00	-4,20	180.00

### Descrizione terreni

*Simbologia adottata*

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ <sub>sat</sub>	peso di volume saturo del terreno espresso [kg/mc]
φ	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

N°	Descrizione	γ	γ <sub>sat</sub>	φ	δ	c
		[kg/mc]	[kg/mc]	[°]	[°]	[kg/cm <sup>2</sup> ]
1	Terreno 1	1730,0	1730,0	21.70	14.50	0,010
2	Terreno 2	1880,0	1888,0	27.20	18.10	0,125
3	Terreno 3	2100,0	2100,0	30.00	20.00	0,550

## Parametri per il calcolo dei tiranti

### Simbologia adottata

$\phi_{\min}$	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
$\delta_{\min}$	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
$c_{\min}$	coesione minima del terreno espressa in [kg/cmq]
$\phi_{\text{med}}$	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
$\delta_{\text{med}}$	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
$c_{\text{med}}$	coesione media del terreno espressa in [kg/cmq]

N°	Descrizione	$\phi_{\min}$	$\phi_{\text{med}}$	$\delta_{\min}$	$\delta_{\text{med}}$	$c_{\min}$	$c_{\text{med}}$
		[°]	[°]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]
1	Terreno 1	21.70	21.70	14.50	14.50	0,010	0,010
2	Terreno 2	27.20	27.20	18.10	18.10	0,125	0,125
3	Terreno 3	30.00	30.00	20.00	20.00	0,550	0,550

## Descrizione stratigrafia

### Simbologia adottata

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

N°	sp	$\alpha_M$	$\alpha_V$	Kw <sub>M</sub>	Kw <sub>V</sub>	Terreno M	Terreno V
	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq/cm]	[kg/cmq/cm]		
1	2,50	15.00	15.00	0.24	0.24	Terreno 1	Terreno 1
2	3,00	15.00	15.00	8.00	8.00	Terreno 2	Terreno 2
3	7,00	0.00	0.00	5.50	5.50	Terreno 3	Terreno 3

## Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante

Calcolo tiranti:	VERIFICA	
Diametro della perforazione	12,00	[cm]
Coeff. di espansione laterale	1.25	
<b>Malta utilizzata per i tiranti</b>		
Classe di Resistenza	C20/25	
Resistenza caratteristica a compressione R <sub>ck</sub>	255	[kg/cmq]
<b>Acciaio utilizzato per i tiranti</b>		
Tipo	Precomp	
Tensione di snervamento f <sub>yk</sub>	16000	[kg/cmq]
<b>Tiranti attivi armati con trefoli</b>		
Area del singolo trefolo:	1,40	[cmq]
Numero di trefoli del tirante:	1	
Coefficiente cadute di tensione:	1.20	
Coeff. correttivo $\omega$ :	SI	

**I parametri di interazione tiranti-terreno sono stati definiti come percentuale di angolo di attrito e coesione dello strato:**

- Aliquota angolo di attrito	50.00	[%]
- Aliquota coesione	50.00	[%]
Coefficiente di spinta	Spinta a riposo	
Tensione limite resistenza malta	Media valori $\tau_{c0}$ e $\tau_{c1}$	

## Descrizione tiranti di ancoraggio

### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della fila
Tipologia	Descrizione tipologia tirante
Y	ordinata della fila espressa in [m] misurata dalla testa della paratia
I	interasse tra le file di tiranti espressa in [m]
f	franco laterale espressa in [m]
alfa	inclinazione dei tiranti della fila rispetto all'orizzontale espressa in [°]
ALL	allineamento dei tiranti della fila (CENTRATI o SFALSATI)
nr	numero di tiranti della fila
Lt	lunghezza totale del tirante espresso in [m]
Lf	lunghezza di fondazione del tirante espresso in [m]
T	tiro iniziale espresso in [kg]

n°	Tipologia	Y	I	f	Alfa	ALL	nr	Lt	Lf	T
		[m]	[m]	[m]	[°]			[m]	[m]	[kg]
1	Tirante	0,25	1,40	0,20	45.00	Centrati	9	13,50	11,00	3000,00

## Caratteristiche materiali utilizzati

### Simbologia adottata

$\gamma_{cls}$	Peso specifico cls, espresso in [kg/mc]
Classe cls	Classe di appartenenza del calcestruzzo
Rck	Rigidità cubica caratteristica, espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
E	Modulo elastico, espresso in [kg/cm <sup>2</sup> ]
Acciaio	Tipo di acciaio
n	Coeff. di omogeneizzazione acciaio-calcestruzzo

Descrizione	$\gamma_{cls}$ [kg/mc]	Classe cls	Rck [kg/cm <sup>2</sup> ]	E [kg/cm <sup>2</sup> ]	Acciaio	n
Paratia	2500	C20/25	255	307953	S 355	15.00
Cordolo/Muro	2500	C25/30	306	320666	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

## Condizioni di carico

### Simbologia e convenzioni adottate

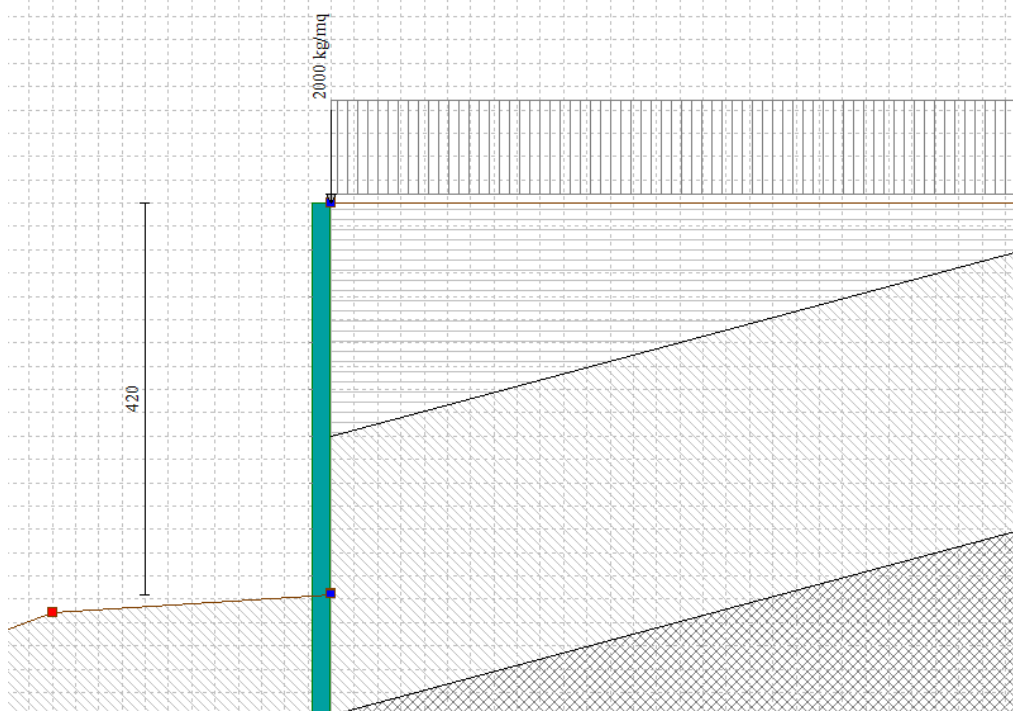
Le ascisse dei punti di applicazione del carico sono espresse in [m] rispetto alla testa della paratia

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

Ig	Indice di gruppo
$F_x$	Forza orizzontale espressa in [kg], positiva da monte verso valle
$F_y$	Forza verticale espressa in [kg], positiva verso il basso
M	Momento espresso in [kgm], positivo ribaltante
$Q_l, Q_r$	Intensità dei carichi distribuiti sul profilo espresse in [kg/mq]
$V_l, V_s$	Intensità dei carichi distribuiti sulla paratia espresse in [kg/mq], positivi da monte verso valle
R	Risultante carico distribuito sulla paratia espressa in [kg]

### Condizione n° 1 - Variabile - Condizione 1 ( $I_g=0$ ) [ $\Psi_0=0.70 - \Psi_1=0.50 - \Psi_2=0.20$ ]

Carico distribuito sul profilo	$X_l = 0,00$	$X_r = 7,50$	$Q_l = 2000$	$Q_r = 2000$	
Carico concentrato sul profilo	$X = 0,00$	$F_x = 0$	$F_y = 1000$		



## Combinazioni di carico

Nella tabella sono riportate le condizioni di carico di ogni combinazione con il relativo coefficiente di partecipazione.

### Combinazione n° 1 - SLU - STR (A1-M1-R1)

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.30	
Condizione 1	SFAV	1.50	1.00

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.30	1.00

### Combinazione n° 3 - SLV - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.00	1.00

### Combinazione n° 4 - SLE - Rara

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.00	0.70

### Combinazione n° 5 - SLE - Frequente

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.00	0.20

### Combinazione n° 6 - SLE - Quasi permanente

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.00	0.20

### Combinazione n° 7 - SLD

Condizione	Fav/Sfav	$\gamma$	$\Psi$
Spinta terreno	SFAV	1.00	
Condizione 1	SFAV	1.00	1.00

## Impostazioni di progetto

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

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

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

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

Parametri		Statici		Sismici	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_c$	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniaassiale	$\gamma_{qu}$	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	$\gamma_f$	1.00	1.00	1.00	1.00

### TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche dei tiranti

#### Resistenza

Laterale  $\gamma_{st}$  **R3** 1,20

Coefficienti di riduzione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate 1  $\xi_3=1,80$   $\xi_4=1,80$

Verifica materiali : Stato Limite

#### Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

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

#### Verifica Taglio

Sezione in acciaio

$$V_{c,Rd} = A_v \cdot f_{yd} / 3.0^{0.5}$$

con:

$A_v$  Area lorda sezione profilo

#### Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Ordinarie  
 Armatura ad aderenza migliorata

#### Impostazioni di analisi

##### Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva

Influenza  $\delta$  (angolo di attrito terreno-paratia): Nel calcolo del coefficiente di spinta attiva  $K_a$  e nell'inclinazione della spinta attiva (non viene considerato per la spinta passiva)

Stabilità globale: Metodo di Fellenius

#### Impostazioni analisi sismica

##### Combinazioni/Fase

	SLU	SLE
Accelerazione al suolo $[m/s^2]$	1.094	0.382
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale $F_0$	2.418	2.480
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante $T_c^*$	0.271	0.214
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.200	1.200
Tipo di sottosuolo	C	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.500	1.500
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo ( $\alpha$ )	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza $U_s$ [m]	0.040	0.040
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo ( $\beta$ )	0.642	0.642
Prodotto $\alpha \beta$	0.642 > 0.2	
Coefficiente di intensità sismica (percento)	12.882	4.498
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	

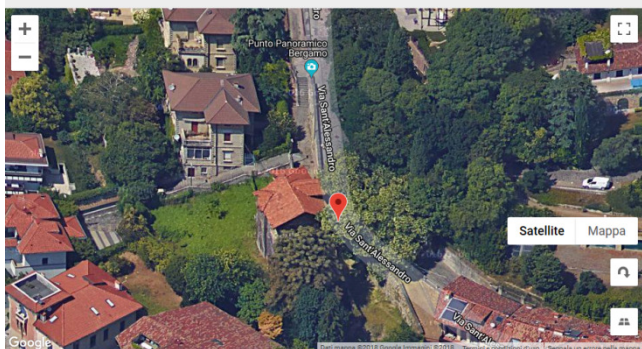
Influenza sisma nella spinta attiva da monte

Forma diagramma incremento sismico : Rettangolare

01. INSERIRE INDIRIZZO:

Via Sant'Alessandro, 134, 24121 Bergamo BG, Italia

CERCA



02. INSERIRE PARAMETRI:

VITA NOMINALE:

50 (anni)

CLASSE DI UTILIZZO:

Classe II

VITA DI RIFERIMENTO:

50

SPETTRO:

SLV 10%

PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO:

10 %

PERIODO DI RITORNO

475 (anni)

LATITUDINE:

45.69827

LONGITUDINE:

9.66181

RISULTATI:

AG/G:

0.1094

F0:

2.42

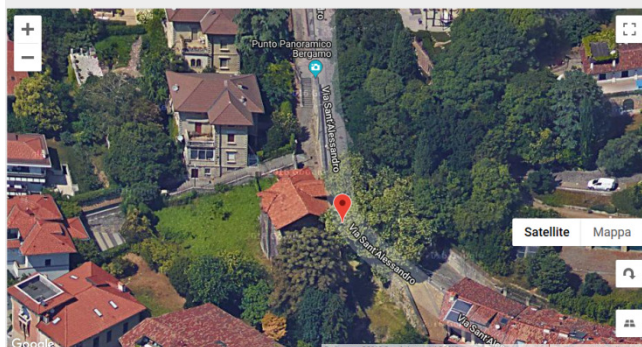
TC:

0.27

01. INSERIRE INDIRIZZO:

Via Sant'Alessandro, 134, 24121 Bergamo BG, Italia

CERCA



02. INSERIRE PARAMETRI:

VITA NOMINALE:

50 (anni)

CLASSE DI UTILIZZO:

Classe II

VITA DI RIFERIMENTO:

50

SPETTRO:

SLD 63%

PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DELLA VITA DI RIFERIMENTO:

63 %

PERIODO DI RITORNO

50 (anni)

LATITUDINE:

45.69827

LONGITUDINE:

9.66181

RISULTATI:

AG/G:

0.0382

F0:

2.48

TC:

0.21

## Risultati

### Analisi della paratia

#### L'analisi è stata eseguita per combinazioni di carico

La paratia è analizzata con il metodo degli elementi finiti.

Essa è discretizzata in 84 elementi fuori terra e 76 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

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

La costante di Winkler si assume costante su ogni strato.

Altezza fuori terra della paratia	4,20	[m]
Profondità di infissione	3,80	[m]
Altezza totale della paratia	8,00	[m]

### Forze agenti sulla paratia

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

#### Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Pa	Y <sub>Pa</sub>	Is	Y <sub>Is</sub>	Pw	Y <sub>Pw</sub>	Pp	Y <sub>Pp</sub>	Pc	Y <sub>Pc</sub>
		[kg]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]
1	SLU - STR	7660	2,29	--	--	--	--	-6136	4,82	1938	6,66
2	SLU - GEO	7551	2,32	--	--	--	--	-5863	5,14	1880	7,15
3	SLV - GEO	7340	2,32	2725	2,10	--	--	-7750	5,29	2685	7,25
4	SLE - Rara	4110	2,19	--	--	--	--	-3224	4,59	993	6,32
5	SLE - Frequente	2869	2,19	--	--	--	--	-2190	4,56	643	6,27
6	SLE - Quasi permanente	2869	2,19	--	--	--	--	-2190	4,56	643	6,27
7	SLD	4844	2,18	563	2,10	--	--	-4233	4,66	1338	6,42

#### Simbologia adottata

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

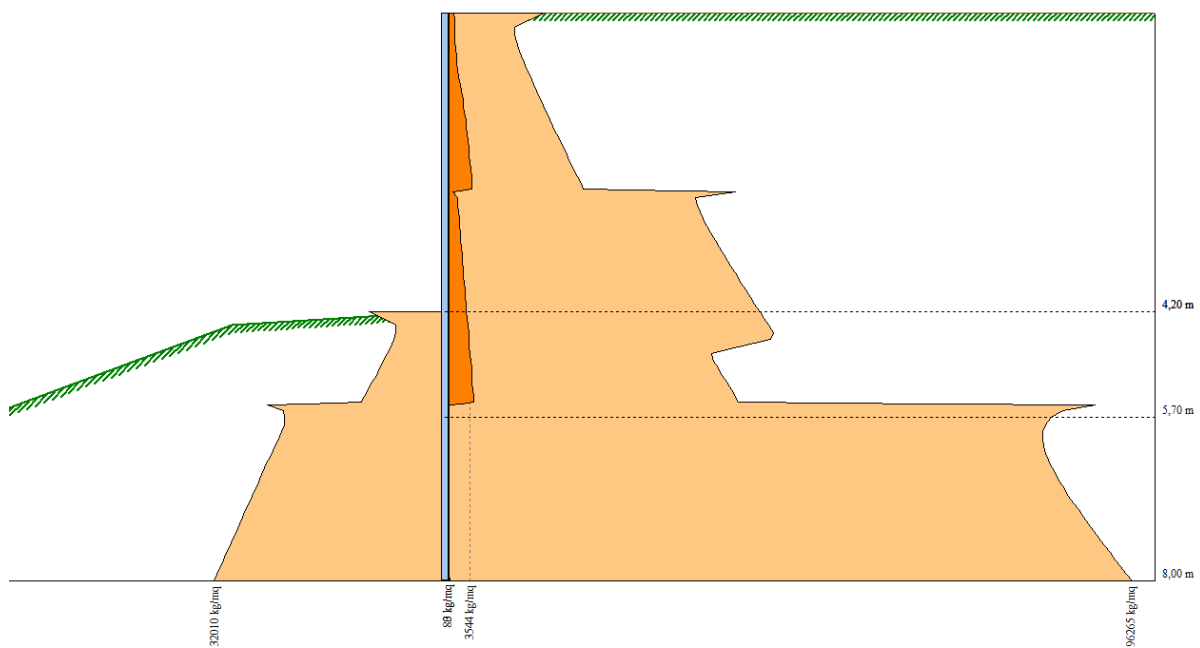
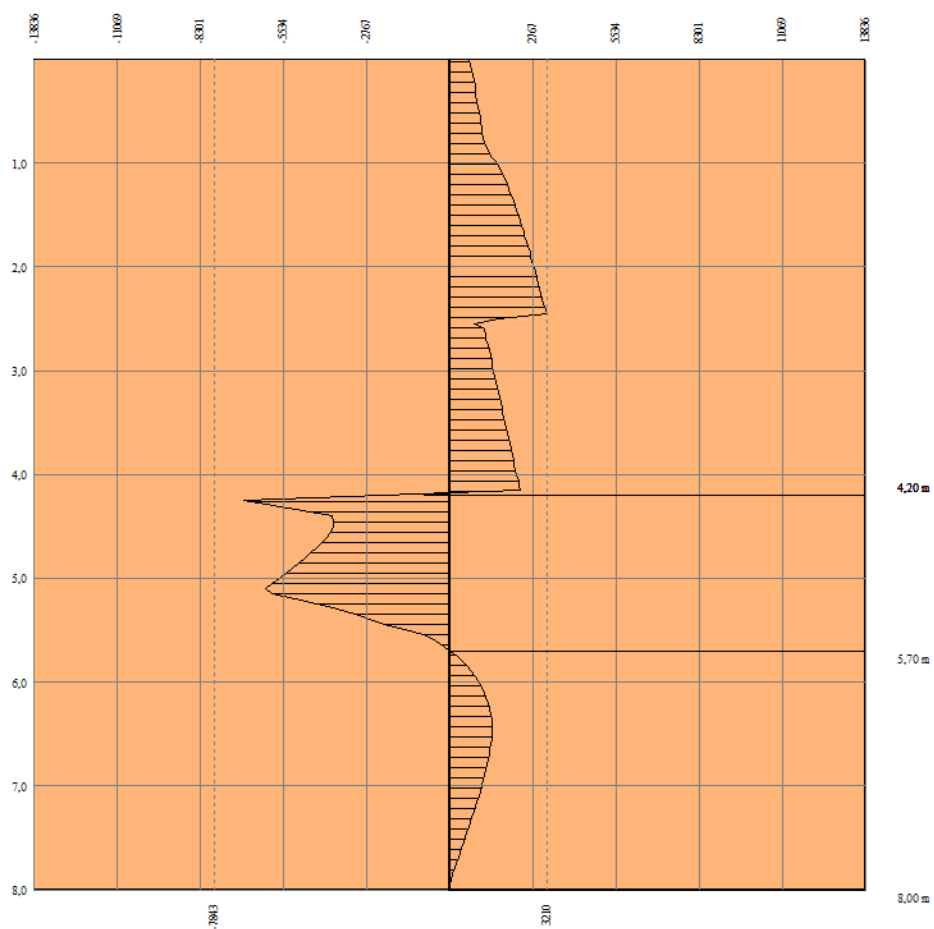
n°	Tipo	Rc	Y <sub>Rc</sub>	Rt	Y <sub>Rt</sub>	Rv	Y <sub>Rv</sub>	Rp	Y <sub>Rp</sub>
		[kg]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]
1	SLU - STR	0	0,00	3465	0,25	0	0,00	0	0,00
2	SLU - GEO	0	0,00	3571	0,25	0	0,00	0	0,00
3	SLV - GEO	0	0,00	5003	0,25	0	0,00	0	0,00
4	SLE - Rara	0	0,00	1882	0,25	0	0,00	0	0,00
5	SLE - Frequente	0	0,00	1323	0,25	0	0,00	0	0,00
6	SLE - Quasi permanente	0	0,00	1323	0,25	0	0,00	0	0,00
7	SLD	0	0,00	2515	0,25	0	0,00	0	0,00

#### Simbologia adottata

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

n°	Tipo	P <sub>NUL</sub>	P <sub>INV</sub>	C <sub>ROT</sub>	MP	R/R <sub>MAX</sub>	Pp
		[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	[m]
1	SLU - STR	4,20	4,20	5,70	24,68	3,81	11964
2	SLU - GEO	4,20	5,50	6,22	33,77	6,54	7327
3	SLV - GEO	4,20	5,50	6,33	35,06	9,11	11964
4	SLE - Rara	4,20	4,20	5,33	11,69	2,37	11964
5	SLE - Frequente	4,20	4,20	5,29	6,49	1,59	11964
6	SLE - Quasi permanente	4,20	4,20	5,29	6,49	1,59	11964
7	SLD	4,20	4,20	5,44	16,88	3,04	11964

Diagramma delle pressioni



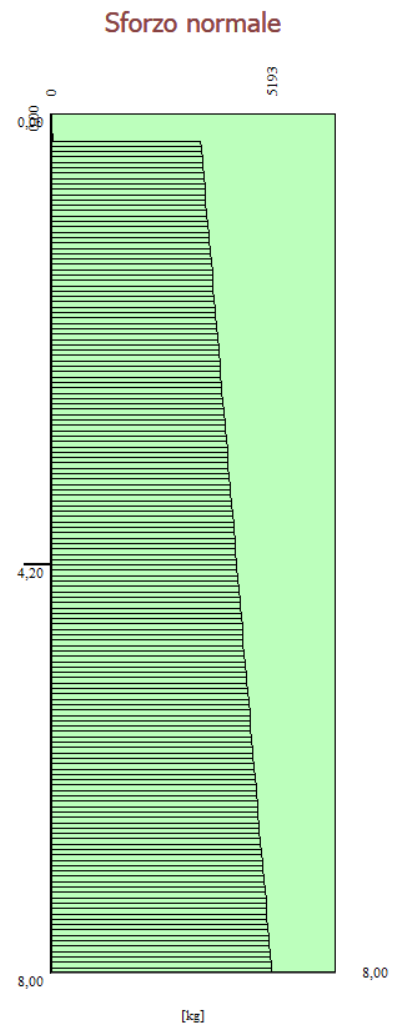
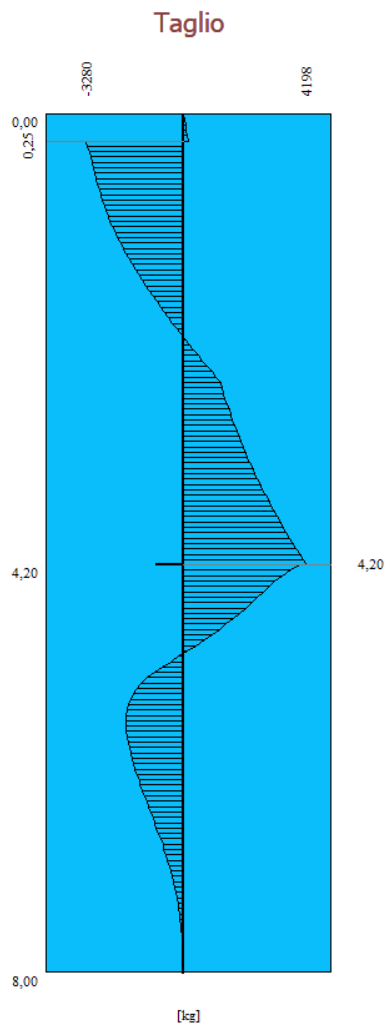
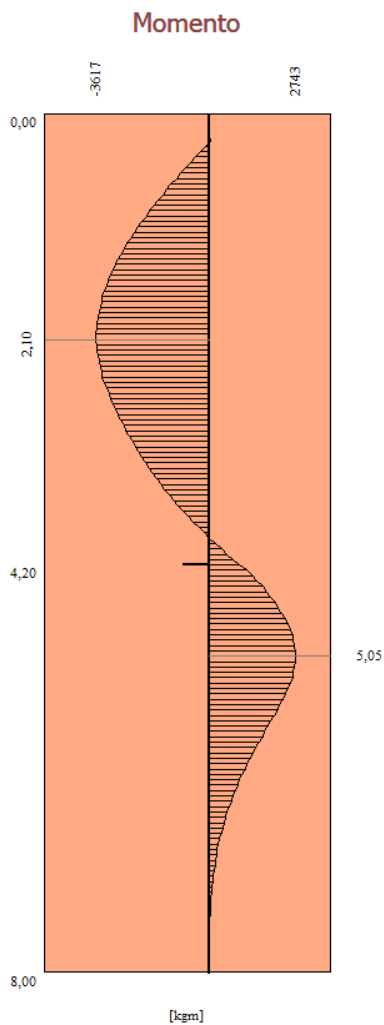
Spinte

## Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

### Simbologia adottata

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

n°	Tipo	M	Y <sub>M</sub>	T	Y <sub>T</sub>	N	Y <sub>N</sub>	
		[kgm]	[m]	[kg]	[m]	[kg]	[m]	
1	SLU - STR	2743	5,05	4198	4,20	5193	8,00	MAX
		-3617	2,10	-3280	0,25	0	0,00	MIN
2	SLU - GEO	2739	5,50	3982	4,20	5299	8,00	MAX
		-3957	2,20	-3386	0,25	0	0,00	MIN
3	SLV - GEO	3867	5,60	5064	4,20	6731	8,00	MAX
		-5264	2,20	-4663	0,25	0	0,00	MIN
4	SLE - Rara	1348	4,70	2230	4,20	3609	8,00	MAX
		-1936	2,00	-1805	0,25	0	0,00	MIN
5	SLE - Frequente	867	4,65	1548	4,20	3050	8,00	MAX
		-1445	1,95	-1304	0,25	0	0,00	MIN
6	SLE - Quasi permanente	867	4,65	1548	4,20	3050	8,00	MAX
		-1445	1,95	-1304	0,25	0	0,00	MIN
7	SLD	1841	4,80	2894	4,20	4242	8,00	MAX
		-2469	2,00	-2366	0,25	0	0,00	MIN



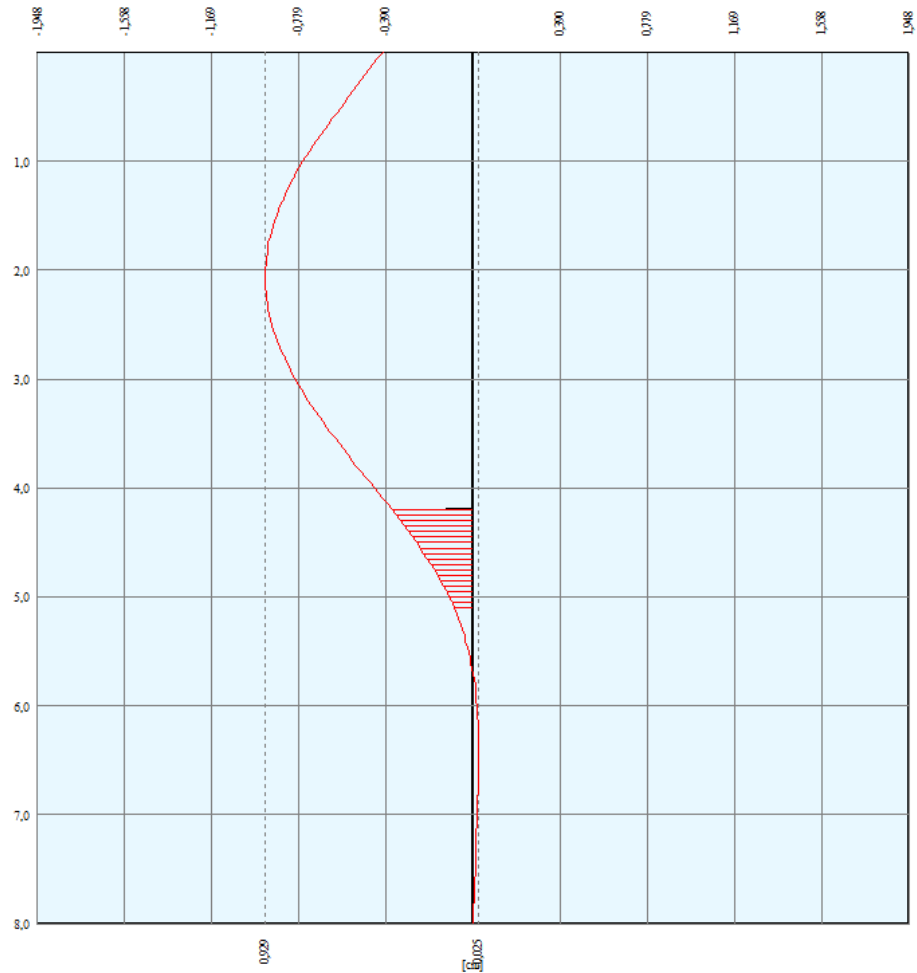
Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	U	Y <sub>0</sub>	V	Y <sub>v</sub>	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
1	SLU - STR	0,9291	2,05	0,0127	0,00	MAX
		-0,0252	6,45	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	1,1117	2,25	0,0130	0,00	MAX
		-0,0247	7,00	0,0000	0,00	MIN
3	SLV - GEO	1,6230	2,25	0,0172	0,00	MAX
		-0,0362	7,20	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Rara	0,3755	2,10	0,0081	0,00	MAX
		-0,0123	6,10	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Frequente	0,2221	2,25	0,0065	0,00	MAX
		-0,0379	0,00	0,0000	0,00	MIN
6	SLE - Quasi permanente	0,2221	2,25	0,0065	0,00	MAX
		-0,0379	0,00	0,0000	0,00	MIN
7	SLD	0,5585	2,00	0,0099	0,00	MAX
		-0,0170	6,20	0,0000	0,00	MIN

Deformata



## Verifica a spostamento

### Simbologia adottata

n°	Indice combinazione/Fase
Tipo	Tipo combinazione/Fase
Ulim	spostamento orizzontale limite, espresso in [cm]
U	spostamento orizzontale calcolato, espresso in [cm] (positivo verso valle)

n°	Tipo	Ulim	U
		[cm]	[cm]
1	SLU - STR	4,0000	0,9291
2	SLU - GEO	4,0000	1,1117
3	SLV - GEO	4,0000	1,6230
4	SLE - Rara	4,0000	0,3755
5	SLE - Frequente	4,0000	0,2221
6	SLE - Quasi permanente	4,0000	0,2221
7	SLD	4,0000	0,5585

## Verifiche di corpo rigido

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
S	Spinta attiva da monte (risultante diagramma delle pressioni attive da monte) espressa in [kg]
R	Resistenza passiva da valle (risultante diagramma delle pressioni passive da valle) espresso in [kg]
W	Spinta netta falda (positiva da monte verso valle), espresso in [kg]
T	Reazione tiranti espresso in [kg]
P	Reazione puntoni espresso in [kg]
V	Reazione vincoli espresso in [kg]
C	Risultante carichi applicati sulla paratia (positiva da monte verso valle) espresso in [kg]
Y	Punto di applicazione, espresso in [m]
Mr	Momento ribaltante, espresso in [kgm]
Ms	Momento stabilizzante, espresso in [kgm]
FS <sub>RIB</sub>	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FS <sub>SCO</sub>	Fattore di sicurezza a scorrimento

I punti di applicazione delle azioni sono riferite alla testa della paratia.

La verifica a ribaltamento viene eseguita rispetto al centro di rotazione posto alla base del palo.

n°	Tipo	S Y	R Y	W Y	T Y	P Y	V Y	C Y	Mr	Ms	FS <sub>RIB</sub>	FS <sub>SCO</sub>
		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kgm]	[kgm]		
3	SLV - GEO	14589 3,04	56423 6,60	0 0,00	5003 0,25	0 0,00	0 0,00	0 0,00	69416	117571	1.694	4.393

## Stabilità globale

### Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X <sub>C</sub> ; Y <sub>C</sub> )	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X <sub>V</sub> ; Y <sub>V</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X <sub>M</sub> ; Y <sub>M</sub> )	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X <sub>C</sub> , Y <sub>C</sub>	R	X <sub>V</sub> , Y <sub>V</sub>	X <sub>M</sub> , Y <sub>M</sub>	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
2	SLU - GEO	-6,40; 5,60	15,03	-12,76; -8,02	7,56; 0,00	2.364
3	SLV - GEO	-6,40; 5,60	15,03	-12,76; -8,02	7,56; 0,00	2.694

## Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

### Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)

Le strisce sono numerate da monte verso valle

N° numero d'ordine della striscia

W peso della striscia espresso in [kg]

$\alpha$  angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)

$\phi$  angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

b larghezza della striscia espressa in [m]

L sviluppo della base della striscia espressa in [m] ( $L=b/\cos\alpha$ )

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Ctn, Ctt contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espresse in [kg]

### Combinazione n° 2 - SLU - GEO

Numero di strisce 51

### Caratteristiche delle strisce

N°	Wi	$\alpha$	L	$\phi$	c	u	(Ctn; Ctt)
	[kg]	[°]	[m]	[°]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[kg]
1	117,51	-24.20	0,44	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
2	357,79	-22.55	0,43	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
3	587,99	-20.91	0,43	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
4	813,21	-19.29	0,42	23.57	0,270	0,000	(0; 0)
5	1044,08	-17.69	0,42	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
6	1265,92	-16.10	0,42	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
7	1477,77	-14.52	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
8	1679,85	-12.96	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
9	1872,35	-11.40	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
10	2055,45	-9.85	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
11	2229,27	-8.32	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
12	2393,94	-6.78	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
13	2549,56	-5.25	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
14	2696,21	-3.73	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
15	2833,93	-2.21	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
16	2962,77	-0.69	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
17	3082,75	0.84	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
18	3193,86	2.36	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
19	3296,08	3.88	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
20	3389,38	5.40	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
21	3473,70	6.93	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
22	3548,95	8.47	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
23	3615,05	10.01	0,40	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
24	3671,86	11.55	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
25	3706,78	13.11	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
26	3663,83	14.68	0,41	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
27	3600,72	16.25	0,42	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
28	3527,59	17.84	0,42	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
29	3444,18	19.45	0,42	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
30	3350,19	21.07	0,43	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
31	3245,30	22.71	0,43	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
32	4429,11	24.37	0,44	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
33	8311,10	26.04	0,44	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
34	6858,29	27.74	0,45	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
35	6692,79	29.47	0,46	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
36	6513,96	31.23	0,47	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
37	6321,05	33.02	0,47	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
38	6113,21	34.85	0,48	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
39	5889,45	36.72	0,50	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
40	5648,58	38.63	0,51	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
41	5389,24	40.60	0,52	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
42	5109,76	42.63	0,54	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
43	4808,13	44.73	0,56	24.79	0,440	0,000	(0; 0)
44	4481,89	46.90	0,58	24.79	0,440	0,000	(2730; 0)
45	4129,73	49.17	0,61	23.57	0,270	0,000	(0; 0)
46	3770,08	51.55	0,64	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
47	3384,18	54.06	0,68	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
48	2958,91	56.73	0,72	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
49	2485,18	59.61	0,79	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
50	1949,18	62.77	0,87	22.35	0,100	0,000	(0; 0)
51	1198,51	65.89	0,97	20.00	0,054	0,000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia = 0,00 [kg]

$\Sigma W_i = 175190,13$  [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 65736,83$  [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 69114,03$  [kg]

$\Sigma c_b / \cos \alpha_i = 85053,91$  [kg]



Area della sezione del tubolare 26,64 [cmq]

n° - Tipo	Y	M	N	Mu	Nu	FS
	[m]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
3 - SLV - GEO	2,20	-1914	1992	-3176	3306	1.659

### Verifica a taglio

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
V <sub>Ed</sub>	taglio agente sul palo, espresso in [kg]
V <sub>Rd</sub>	taglio resistente, espresso in [kg]
FS	coefficiente di sicurezza a taglio (V <sub>Rd</sub> /V <sub>Ed</sub> )

La verifica a taglio del micropalo è stata eseguita considerando una sezione anulare di area A = 26,64 cmq

n° - Tipo	Y	V <sub>Ed</sub>	V <sub>Rd</sub>	FS
	[m]	[kg]	[kg]	
3 - SLV - GEO	4,20	1842	33758	18.331

### Verifica tensioni

#### Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ <sub>f</sub>	tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]
τ <sub>f</sub>	tensione tangenziale in [kg/cm <sup>2</sup> ]
σ <sub>id</sub>	tensione ideale espressa in [kg/cm <sup>2</sup> ]

Area della sezione del tubolare 26,64 [cmq]

σ <sub>f</sub>	τ <sub>f</sub>	σ <sub>id</sub>	cmb
[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	[kg/cm <sup>2</sup> ]	
1097,69	1,09	1097,69	4

### Verifica sezione cordoli

#### Simbologia adottata

M <sub>h</sub>	momento flettente espresso in [kgm] nel piano orizzontale
T <sub>h</sub>	taglio espresso in [kg] nel piano orizzontale
M <sub>v</sub>	momento flettente espresso in [kgm] nel piano verticale
T <sub>v</sub>	taglio espresso in [kg] nel piano verticale

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

B=50,00 [cm]	H=50,00 [cm]		
A <sub>h</sub> =10,05 [cmq]	A <sub>h</sub> =6,03 [cmq]	Staffe φ10/20	Nbh=2 - Nbv=2
M <sub>h</sub> =1226 [kgm]	M <sub>uh</sub> =17848 [kgm]	FS=14.56	
T <sub>h</sub> =3502 [kg]	T <sub>Rh</sub> =26512 [kg]	FS <sub>T</sub> =7.57	
M <sub>v</sub> =1226 [kgm]	M <sub>uv</sub> =17848 [kgm]	FS=14.56	
T <sub>v</sub> =3502 [kg]	T <sub>R</sub> =26512 [kg]	FS <sub>TV</sub> =7.57	

## Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

### Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

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

#### Tipo di analisi svolta

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

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

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

#### Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	PAC - Analisi e Calcolo Paratie
Versione	14.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	Comune di Bergamo
Licenza	AIU5381JP

#### Affidabilità dei codici di calcolo

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

#### Modalità di presentazione dei risultati

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

#### Informazioni generali sull'elaborazione

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

#### Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

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

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

Bergamo, 12.12.2018

Il progettista  
**Ing. Fabio Ghisalberti**  
n. 1490 Albo Ingegneri BG



## Indice

Oggetto	
Normative di riferimento	1
Richiami teorici	1
Metodo di analisi	1
Calcolo della profondità di infissione	1
Calcolo della spinte	2
Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)	2
Spinta in presenza di sisma	2
Tiranti di ancoraggio	2
Analisi ad elementi finiti	3
Schematizzazione del terreno	3
Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno	4
Verifica alla stabilità globale	4
Dati	5
Geometria paratia	5
Geometria cordoli	5
Geometria profilo terreno	5
Descrizione terreni	5
Descrizione stratigrafia	6
Caratteristiche tiranti di ancoraggio	6
Descrizione tiranti di ancoraggio	6
Caratteristiche materiali utilizzati	7
Condizioni di carico	7
Combinazioni di carico	8
Impostazioni di progetto	8
Impostazioni di analisi	9
Impostazioni analisi sismica	9
Risultati	11
Analisi della paratia	11
Forze agenti sulla paratia	11
Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia	13
Spostamenti massimi e minimi della paratia	14
Verifica a spostamento	15
Verifiche di corpo rigido	15
Stabilità globale	15
Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo	15
Risultati tiranti	17
Verifica armatura paratia (Involuppo sezioni critiche)	17
Verifica a flessione	17
Verifica a taglio	18
Verifica tensioni	18
Verifica sezione cordoli	18
Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)	19