

Accordo Quadro triennale per l'affidamento di Servizi di ingegneria e architettura:  
progetto di fattibilità tecnica ed economica e/o progettaz. definitiva e/o esecutiva e/o attività di supporto  
per l'esecuzione nella Regione Campania di interventi sui sistemi di mobilità ex Delib. G.R. 104/2018 - 109/2018 e ss.mm.ii.  
**Lotto n. 3 - CUP: B49J18002170001 - CIG: 75188184E5**

Responsabile del procedimento: arch. Paolo FRESCHI

Direttore dell'esecuzione del contratto: ing. Umberto PISAPIA

ENTE APPALTANTE:



Comune di Morigerati

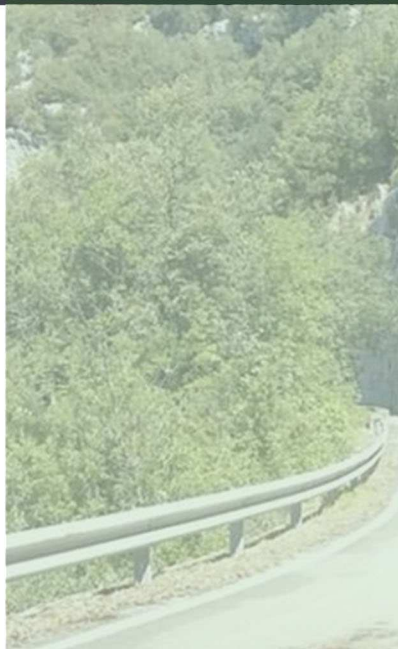
## Contratto Attuativo: Comune di Morigerati

### OGGETTO:

**Intervento di consolidamento del dissesto idrogeologico  
Strade Provinciali n° 54 e n° 210  
CUP: I27H19002810006**

### PROGETTAZIONE ESECUTIVA

Responsabile del procedimento: geom. Giuseppe FERRIGNO



### N° ELABORATO

# B\_05

**Codice Elaborato**

**ESE\_B\_05\_00**

ALLEGATI:		SCALA DI MISURA	AGGIORNAMENTO
PLANIMETRIE	<input type="checkbox"/>		DATA
PIANTE	<input type="checkbox"/>		DATA
SEZIONI/PROSPETTI	<input type="checkbox"/>		DATA
SCHEMI FUNZIONALI	<input type="checkbox"/>		DATA
DOCUMENTI	<input checked="" type="checkbox"/>	-----	DATA

00	MAG-24	SIB	SIB	SIB	
REV	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

### TITOLO ELABORATO

### RELAZIONI TECNICHE E SPECIALISTICHE

### RELAZIONE SISMICA E SULLE STRUTTURE

Capogruppo: **studioingegneriabello**



**sib**  
s.r.l.

Responsabile delle attività professionali tra le diverse prestazioni specialistiche:  
ing. Giovanni Vito BELLO

Mandanti:

**duomi**  
Magister Engineering

**MATILDI+PARTNERS**

**@** A.T. Advanced  
Technologies S.r.l.

**interdata**

**Giuseppe  
Coppola**  
INGEGNERE  
PUBBLICAMENTE  
AUTORIZZATO

Agr. Domenico CIAMPA  
Geol. Francesco UCCI

## **CRITERI GENERALI DI PROGETTO**

*La scelta del tipo di opera di sostegno viene effettuata sulla base delle dimensioni e delle esigenze di funzionamento dell'opera, delle caratteristiche meccaniche dei terreni, dell'eventuale regime delle pressioni interstiziali, dell'interazione con gli eventuali manufatti circostanti e delle condizioni generali di stabilità del sito. Il modello geometrico dell'opera di sostegno tiene conto delle possibili variazioni del livello del terreno a monte e a valle del paramento rispetto ai valori nominali.*

*Il livello di progetto della superficie libera dell'acqua o della falda freatica viene scelto sulla base di misure e sulla conoscenza del regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo.*

*Il calcolo e la verifica agli stati limite dell'opera di sostegno è svolto secondo il punto §6.5.3 delle NTC.*

*Gli stati limite ultimi dell'opera di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse.*

*Per le paratie si devono considerare almeno i seguenti stati limite, accertandosi che per ognuno di essi siano soddisfatte le condizioni di verifica:*

*SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)*

- *collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);*
- *collasso per carico limite verticale;*
- *sfilamento di uno o più ancoraggi;*
- *instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;*
- *instabilità del fondo scavo per sollevamento;*
- *sifonamento del fondo scavo;*
- *instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;*

*SLU di tipo strutturale (STR)*

- *raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;*
- *raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;*
- *raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.*

*La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:*

- *Combinazione 2:  $(A2+M2+R2)$*

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

- *Combinazione 1:  $(A1+M1+R1)$*
- *Combinazione 2:  $(A2+M2+R2)$*

*tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e con i coefficienti da applicare alle resistenze del sistema  $\gamma R$ , definiti nei paragrafi relativi alle varie verifiche. Nel presente calcolo, maggiori dettagli sugli approcci utilizzati nelle singole verifiche di cui sopra e sulle combinazioni di carico (§2.5.3 - NTC) considerate, sono riportati nella sezione "Scenari di Calcolo".*

# INFORMAZIONI GENERALI

---

## Progettista

Nome e cognome

Studio di Ingegneria Bello S.r.l.

Indirizzo

Via Alfonso De Blasio, 24

Telefono

0824 27922

Fax

0824 54428

## Opera

Progetto

Paratia

Comune

Morigerati

Data

## Codice di calcolo

Nome

Bulk

Versione

1.0.4

Produzione e Distribuzione

### **SOFT.LAB srl**

Via Borgo II - 82030 PONTE (BN)

Tel. +39 0824 874392 Fax +39 0824 874431

Sito internet: <http://www.soft.lab.it>

E-mail: [info@soft.lab.it](mailto:info@soft.lab.it)

Concesso in licenza a

STUDIO INGEGNERIA BELLO SRL

Codice utente

C0097195

## NORMATIVE

---

- **NTC 2018** - *Norme tecniche per le costruzioni* - D.M. 17 Gennaio 2018.
- **CIRCOLARE 21 Gennaio 2019, n. 7**- *Istruzioni per l'applicazione dell' 'Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.*
- **Eurocodice 7:** *EN-1997-1 Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali*
- **Eurocodice 8:** *EN-1998-5 Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici*

## RICHIAMI TEORICI

---

### Introduzione

*Le paratie vengono largamente utilizzate per svariati scopi, ad esempio per migliorare la stabilità di pendii, per puntellare pareti di trincee e altri scavi, per realizzare cassoni a tenuta stagna per lavori subacquei, o ancora per la realizzazione di strutture di protezione contro l'erosione di spiagge. Quando una paratia presenta un'altezza inferiore a circa 3 metri può essere realizzata a mensola mentre per altezze superiori, viene solitamente ancorata.*

*Allo stato attuale non si dispone di metodi esatti per l'analisi e il progetto di paratie: esiste una complessa interazione tra la profondità dello scavo, la rigidità del materiale costituente la paratia e la resistenza dovuta alla pressione passiva. Per le paratie ancorate, l'analisi viene ulteriormente complicata dalla geometria dell'ancoraggio e dalla sua eventuale pretensione iniziale. I metodi correntemente adottati per l'analisi possono essere divisi in due gruppi:*

- *Metodi classici: ipotesi semplificative e considerazioni basate sulla statica del corpo rigido*
- *Metodi che si basano su una discretizzazione: approcci alle differenze finite e agli elementi finiti*

*Il presente software utilizza il secondo metodo.*

### Proprietà del terreno

*Le pressioni laterali chiamate in causa sono la pressione attiva sviluppata dal terrapieno a monte della paratia e la pressione passiva nella parte a valle della paratia, al di sotto della quota di fondo scavo. Per la determinazione delle pressioni del terreno possono essere usate sia la formulazione di Coulomb che quella di Rankine. La resistenza dovuta all'attrito che si manifesta sulla faccia della paratia rivolta verso il terrapieno può essere tenuta in conto solo mediante l'adozione dei coefficienti di Coulomb. Per l'applicazione del metodo degli elementi finiti è necessario utilizzare i coefficienti di pressione attiva del terreno alle spalle della paratia e il concetto di modulo di reazione per il terreno al di sotto della linea di fondo scavo.*

*L'uso del modulo di reazione del terreno consente di modellare il terreno in corrispondenza della linea di fondo scavo come una serie di molle nodali applicate alla paratia, che contribuiscono alla resistenza allo spostamento laterale.*

*Stime del modulo di reazione del terreno possono essere ottenute mediante i procedimenti illustrati in letteratura (Bowles, 1974): esso è funzione della capacità portante a diverse profondità, nell'ambito della probabile profondità di infissione delle paratie.*

### Calcolo della spinta del terreno

*Vengono di seguito fornite le equazioni per il calcolo della spinta attiva e passiva indotte da uno strato omogeneo di terra spingente, secondo le teorie più accreditate, utilizzate nel presente calcolo.*

***Teoria di Coulomb.*** *In assenza di sisma, il calcolo della spinta del terreno viene eseguito con riferimento*

alla teoria di Coulomb meglio nota come teoria del cuneo di rottura, nella quale si considera l'equilibrio limite delle forze agenti sul cuneo di spinta, assumendo la superficie di scorrimento piana e inclinata rispetto all'orizzontale.

La teoria di Coulomb, estesa analiticamente da Muller-Breslau ai casi più generali, è basata sulle seguenti ipotesi:

- terreno omogeneo;
- superficie di rottura piana;
- superficie superiore del cuneo di spinta piana;
- forze d'attrito uniformemente ripartite sul piano di rottura;
- presenza dell'attrito fra terreno e paramento virtuale;
- paramento virtuale piana, non necessariamente verticale.

Le equazioni che forniscono i valori dei coefficienti di spinta attiva ( $K_a$ ) e passiva ( $K_p$ ) sono di seguito riportate:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \vartheta)}{\cos^2 \vartheta \cos(\vartheta + \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\vartheta + \delta) \cos(\vartheta - \beta)}} \right]^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + \vartheta)}{\cos^2 \vartheta \cos(\vartheta - \delta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\vartheta - \delta) \cos(\vartheta - \beta)}} \right]^2}$$

essendo:

- $\varphi$  l'angolo di attrito (o di resistenza a taglio) del terreno,  
 $\delta$  l'angolo di attrito fra terreno e paramento virtuale  
 $\beta$  l'angolo formato dall'estradosso del terrapieno con l'orizzontale  
 $\vartheta$  l'angolo formato dal paramento virtuale con la verticale

Per  $\delta = \beta = \vartheta = 0$  (paramento virtuale verticale, assenza di attrito fra terreno e paramento e superficie orizzontale del terrapieno) le espressioni dei coefficienti di spinta coincidono con quelli di **Rankine**:

$$K_a = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

In assenza di coesione ( $c = 0$ ), alla generica profondità  $z$  la pressione orizzontale, in condizioni di equilibrio limite attivo, è data da:

$$\sigma_a = \gamma z K_a$$

mentre, in condizioni di equilibrio limite passivo, risulta:

$$\sigma_p = \gamma z K_p$$

essendo  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume del terreno.

In condizioni non drenate ( $\varphi = 0$ ,  $c = c_u$ ), i coefficienti di spinta vengono posti pari all'unità.  
La spinta totale sul muro è inclinata rispetto alla normale al paramento virtuale dell'angolo  $\delta$ .

**Teoria di Mononobe & Okabe.** Il calcolo della spinta del terreno in condizioni sismiche viene eseguito mediante l'approccio pseudo-statico proposto da Mononobe & Okabe. Tale approccio deriva dall'estensione del metodo dell'equilibrio limite di Coulomb in cui si considerano agenti le forze inerziali del terreno dovute al sisma, nelle due direzioni orizzontale e verticale.

Le equazioni che forniscono i valori dei coefficienti di spinta attiva ( $K_{ae}$ ) e passiva ( $K_{pe}$ ) in presenza di sisma sono di seguito riportate:

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\varphi - \vartheta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\vartheta \cos(\vartheta + \delta + \psi) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\vartheta + \delta + \psi) \cos(\vartheta - \beta)}} \right]^2}$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\varphi + \vartheta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\vartheta \cos(\vartheta - \delta + \psi) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi + \beta - \psi)}{\cos(\vartheta - \delta + \psi) \cos(\vartheta - \beta)}} \right]^2}$$

essendo:

$$\psi = \tan^{-1} \left( \frac{k_h}{1 + k_v} \right) \quad \text{l'angolo sismico}$$

$k_h$  il coefficiente di accelerazione sismica orizzontale;

$k_v$  il coefficiente di accelerazione sismica verticale;

$\varphi$  l'angolo di attrito (o di resistenza a taglio) del terreno;

$\delta$  l'angolo di attrito fra terreno e paramento virtuale;

$\beta$  l'angolo formato dall'estradosso del terrapieno con l'orizzontale;

$\vartheta$  l'angolo formato dal paramento virtuale con la verticale.

Sotto sisma e in assenza di coesione ( $c = 0$ ), alla generica profondità  $z$  la pressione orizzontale, in condizioni di equilibrio limite attivo, è data da:

$$\sigma_{ae} = \gamma z (1 - k_v) K_{ae}$$

mentre, in condizioni di equilibrio limite passivo, risulta:

$$\sigma_{pe} = \gamma z (1 - k_v) K_{pe}$$

essendo  $\gamma$  è il peso dell'unità di volume del terreno.

La spinta totale sul muro è pari alla risultante delle pressioni inclinata dell'angolo  $\delta$  rispetto alla normale al paramento virtuale.

Relativamente alla valutazione del coefficiente di spinta attiva, l'approccio di Mononobe & Okabe entra in crisi nel caso in cui:

$$\varphi - \psi < \beta$$

In tal caso, si fa riferimento alle indicazioni dell'Eurocodice 8, Appendice E, il quale prevede che il

coefficiente di spinta attiva  $K_{ae}$  sia valutato trascurando il termine sotto radice.

### Calcolo coefficienti sismici

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione (§7.11.6.3.1 - NTC):

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

essendo:

$a_{max}$	l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
$g$	l'accelerazione di gravità;
$k_h$	il coefficiente sismico in direzione orizzontale;
$\alpha$	coefficiente di deformabilità dei terreni interagenti con l'opera;
$\beta$	coefficiente di spostamento.

Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ .

L'accelerazione massima viene valutata attraverso la relazione:

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

dove:

$S$	è coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (SS) e dell'amplificazione topografica (ST), di cui al § 3.2.3.2 - NTC;
$a_g$	è accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nel presente calcolo, maggiori dettagli sui coefficienti sismici utilizzati nelle analisi sismiche, sono riportati nella sezione "Spettri".

### Effetto dovuto alla coesione

Nei terreni dotati di coesione si considera una resistenza di segno discorde alla spinta attiva (ovvero concorde alla spinta passiva) costante per tutta l'altezza dell'opera di sostegno.

Alla generica profondità  $z$  la pressione orizzontale, in condizioni di equilibrio limite attivo, è data da:

$$\sigma_a = \gamma_z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

mentre, in condizioni di equilibrio limite passivo, risulta:

$$\sigma_p = \gamma_z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

essendo  $c$  la coesione del terreno.

### Spinta in presenza di falda

In presenza di falda, il calcolo delle pressioni laterali per la parte di terreno non sommersa viene

*eseguito in modo analogo a quanto esposto in precedenza, mentre, per la parte sommersa si assume come peso dell'unità di volume quello del terreno sommerso:*

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

*essendo:*

$\gamma_{sat}$  il peso dell'unità di volume del terreno saturo;

$\gamma_w$  il peso dell'unità di volume dell'acqua.

*Si aggiunge, infine, la pressione idrostatica dell'acqua:*

$$p_w = \gamma_w z$$

### **Spinta del terreno su opere di sostegno rigide**

*Nel caso in cui le opere di sostegno sono rigide, non possono determinarsi le cosiddette condizioni di stato limite attivo e quindi la pressione attiva non può svilupparsi.*

*In tal caso la pressione orizzontale dipende dalla natura del terreno e dal grado di sovraconsolidazione OCR e viene calcolata assumendo, come coefficiente di spinta, il coefficiente di spinta a riposo fornito da (Par. 9.5.2(3) - EN 1997-1):*

$$K_0 = (1 - \sin \varphi) \sqrt{OCR}$$

*Nel caso di terreni coesivi il coefficiente di spinta a riposo è fornito dalla formula di Terzaghi:*

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

*in cui  $\nu$  è il coefficiente di Poisson del terreno.*

*Se l'estradosso del terreno è inclinato rispetto all'orizzontale dell'angolo  $\beta < \varphi$  rispetto all'orizzontale il coefficiente di spinta a riposo attraverso la seguente espressione (Par. 9.5.2(4) - EN 1997-1):*

$$K_{0\beta} = K_0 (1 + \sin \beta)$$

*Inoltre, se il paramento virtuale è inclinato dell'angolo  $\vartheta$  rispetto alla verticale il coefficiente di spinta a riposo è fornito da:*

$$K_{0\vartheta} = \sqrt{\sin^2 \vartheta + K_0^2 \cos^2 \vartheta}$$

*In condizioni sismiche, l'Appendice E (E.9) della EN 1998-5 suggerisce di valutare l'incremento di spinta in accordo con la formula proposta da Wood (1973), con punto di applicazione posto a metà altezza del dell'opera di sostegno, utilizzando un coefficiente sismico orizzontale maggiore rispetto a quello definito per i muri liberi di traslare e ruotare intorno al piede:*

$$\Delta P_d = \alpha S \gamma H^2$$



## Spinte dovute ai carichi agenti sul terrapieno

Vengono considerati gli eventuali effetti spingenti dei seguenti tipi di carico:

- carico uniforme
- carico nastroforme
- carico lineare
- carico puntiforme

La spinta dovuta al carico uniforme viene valutata trasformando il carico in un'altezza di terreno equivalente. Per i restanti carichi, le pressioni laterali vengono determinate attraverso la teoria di Boussinesq.

Nel caso in cui il terrapieno sia inclinato dell'angolo  $\beta$  rispetto all'orizzontale e il paramento virtuale inclinato dell'angolo  $\vartheta$  rispetto alla verticale, la pressione laterale dovuta ai carichi viene corretta mediante il termine:

$$w = \frac{\sin(\pi/2 - \vartheta)}{\sin(\pi/2 - \vartheta + \beta)}$$

**Carico uniforme.** La pressione laterale dovuta al carico in condizioni di spinta attiva viene assunta costante per tutta l'altezza dell'opera di sostegno e pari a:

$$\sigma_q = q K_a$$

Sotto sisma, la pressione laterale dovuta al carico uniforme si assume pari a:

$$\sigma_q = q(1 - k_v) K_{ae}$$

essendo  $K_{ae}$  il coefficiente di spinta attiva in condizioni sismiche (ved. Mononobe & Okabe).

**Carico nastroforme.** Il carico nastroforme agisce su una zona limitata del terreno a monte dell'opera di sostegno (es. sede stradale).

La pressione laterale alla generica profondità  $z$  indotta da un carico nastroforme avente larghezza d'impronta  $B$  e agente alla distanza  $x$  dalla testa di un'opera di sostegno di altezza  $H$ , viene ricavata dalla teoria dell'elasticità di Boussinesq sulla base di una formulazione proposta da Terzaghi:

$$\sigma_{qn} = \frac{2q}{\pi} (\xi - \sin \xi \cos 2\zeta)$$

nella quale  $\xi$  e  $\zeta$ , espressi in radianti, sono funzioni della profondità:

$$\zeta = \frac{\xi}{2} + \alpha_1$$

$$\xi = \alpha_2 - \alpha_1$$

essendo:

$$\alpha_1 = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{m}{n} \right)$$

$$\alpha_2 = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{m+l}{n} \right)$$

$$m = \frac{x}{H}$$

$$l = \frac{B}{H}$$

$$n = \frac{z}{H}$$

L'eventuale effetto dovuto all'azione sismica si ottiene incrementando o riducendo il carico della componente verticale del sisma.

**Carico lineare.** Il carico lineare è una tipologia di carico agente lungo una linea parallela all'opera di sostegno sul terrapieno (es. trave rovescia).

La pressione laterale alla generica profondità  $z$  indotta da un carico lineare agente alla distanza  $x$  dalla testa dell'opera di sostegno di altezza  $H$ , viene ricavata dalla teoria dell'elasticità di Boussinesq:

$$\sigma_{ql} = \frac{4q}{\pi H} \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2} \quad \text{se } m > 0.40$$

$$\sigma_{ql} = \frac{q}{H} \frac{0.203n}{(0.16 + n^2)^2} \quad \text{se } m \leq 0.40$$

in cui:

$$m = \frac{x}{H}$$

$$n = \frac{z}{H}$$

L'eventuale effetto dovuto all'azione sismica si ottiene incrementando o riducendo il carico della componente verticale del sisma.

**Carico puntiforme.** Il carico puntiforme è un carico concentrato agente sul terrapieno (es. plinti di fondazione).

Anche per il carico puntiforme la pressione laterale alla generica profondità  $z$  viene ricavata dalla teoria dell'elasticità di Boussinesq:

$$\sigma_p = 1.77 \frac{P}{H^2} \frac{m^2 n^2}{(m^2 + n^2)^3} \cos^2(1.1\varepsilon) \quad \text{se } m > 0.40$$

$$\sigma_p = 0.28 \frac{P}{H^2} \frac{n^2}{(0.16 + n^2)^3} \cos^2(1.1\varepsilon) \quad \text{se } m \leq 0.40$$

in cui:

$$m = \frac{x}{H}$$

$$n = \frac{z}{H}$$

$P$  è l'intensità del carico puntiforme

$z$  è la profondità dalla testa dell'opera di sostegno

$x$  è la distanza dalla testa dell'opera di sostegno

$H$  è l'altezza dell'opera di sostegno

$\varepsilon$  l'angolo che individua la sezione trasversale rispetto alla quale vengono determinate le pressioni orizzontali (per  $\varepsilon = 0$ , la sezione contiene il punto di applicazione di  $P$ ).

L'eventuale effetto dovuto all'azione sismica si ottiene incrementando o riducendo il carico della componente verticale del sisma.

### Semplificazioni di calcolo

L'utilizzo dei metodi precedentemente esposti, per il calcolo della spinta del terreno sul dell'opera di sostegno, presuppone l'assunzione di alcune ipotesi, tra cui:

- estradosso del terrapieno con superficie piana
- terreno non stratificato (o omogeneo)

ipotesi che spesso non trovano conferma nella pratica progettuale.

**Estradosso del terrapieno spezzato.** La determinazione della spinta in un terrapieno con estradosso spezzato viene ricondotta, con sufficiente approssimazione, a quello della spinta in un terrapieno con superficie piana, calcolando la pressione laterale per ciascun tratto e, a partire dal diagramma corrispondente al primo tratto, eseguendo l'involuppo con il diagramma corrispondente al tratto successivo. Tale involuppo sarà del massimo e del minimo a seconda che la variazione di inclinazione  $\Delta\beta$  dei due tratti considerati, rispetto all'orizzontale, è rispettivamente positiva o negativa.

Il diagramma risultante così determinato, viene a sua volta confrontato con il diagramma relativo all'eventuale tratto successivo, ottenendo un ulteriore diagramma involuppo. Dalla procedura così descritta, sviluppata progressivamente per tutti i tratti, si ottiene il diagramma di spinta finale.

**Terreno stratificato.** In via generale si può trasformare la pressione agente sul generico strato di terreno (ved. carico uniformemente ripartito) in altezza equivalente di terra avente lo stesso peso specifico dello strato caricato.

Ovvero, posto:

$$w = \frac{\sin(\pi/2 - \vartheta)}{\sin(\pi/2 - \vartheta + \beta_i)}$$

con

$\beta_i$  angolo di inclinazione dello strato rispetto all'orizzontale

$\vartheta$  angolo di inclinazione del paramento virtuale rispetto alla verticale

si può scrivere, per i generico strato  $i$ -mo:

$$h_{eq,i} = \frac{p_{i-1} w}{\gamma_i}$$

essendo  $p_{i-1}$  la pressione esercitata dal terreno sovrastante sul tetto dello strato  $i$ -mo.

In generale per lo strato  $i$ -mo di spessore  $h_i$  valgono le formule generalizzate:

$$p_{A,i} = p_{B,i-l} = \gamma_{i-l} (h_{eq,i-l} + h_{i-l}) \quad \text{pressione verticale al tetto dello strato } i\text{-mo}$$

$$s_{A,i} = p_{A,i} K_{a,i} \quad \text{spinta unitaria al tetto dello strato } i\text{-mo}$$

$$h_{eq,i} = \frac{\gamma_{i-l} w}{\gamma_i} (h_{eq,i-l} + h_{i-l}) \quad \text{altezza di terra equivalente}$$

$$p_{B,i} = \gamma_i (h_{eq,i} + h_i) \quad \text{pressione verticale alla base dello strato } i\text{-mo}$$

$$s_{B,i} = p_{B,i} K_{a,i} \quad \text{spinta unitaria alla base dello strato } i\text{-mo}$$

$$S_i = \frac{(s_{A,i} + s_{B,i}) h_i}{2} \quad \text{spinta complessiva dello strato } i\text{-mo}$$

La spinta complessiva della terra risulta pari a:

$$S_t = \sum_i S_i$$

Le formule sopra riportate vengono applicate nel calcolo in presenza di terreni stratificati.

## Analisi agli elementi finiti

*Il metodo degli elementi finiti presentato nel seguito, rappresenta il metodo attuale più efficiente e affidabile per l'analisi e il progetto di paratie. E' applicabile sia al caso di paratie a mensola che a quello di palancolate ancorate e fornisce gli spostamenti laterali, le pressioni passive ai nodi nella zona antistante la paratia, le sollecitazioni sulla paratia e le trazioni sugli eventuali ancoraggi. Si possono studiare ancoraggi multipli, disposti a più livelli, così come il caso di un ancoraggio unico, tenendo conto anche della rigidità degli ancoraggi, modellati come molle. E' possibile considerare paratie costituite di qualsiasi materiale e non necessita dell'introduzione di ipotesi arbitrarie relative alla pressione passiva, come si fa nei metodi classici. Il metodo utilizzato nell'analisi agli elementi finiti è medesimo metodo usato per costruire la matrice di rigidità nel caso di trave su suolo elastico adattato al caso di paratie.*

## Ancoraggi

*L'ancoraggio delle paratie può essere realizzato in svariati modi. Gli ancoraggi a tirante sono solitamente preferiti perché consentono di lasciare libera l'area di fronte alla paratia e permettono di procedere all'installazione mano a mano che si abbassa la linea di fondo scavo. Inoltre la tesatura nei cavi costituisce implicitamente un collaudo dell'ancoraggio stesso. Presentano tuttavia lo svantaggio di poter interferire con i servizi di pubblica utilità (cavi elettrici e telefoni, acquedotti, fognature, ecc.) installati nel sottosuolo. L'installazione può essere effettuata utilizzando una trivella a fusto cavo di diametro da 200 a 375 mm. Il cavo, provvisto di un dispositivo ad espansione all'estremità volto a garantire la resistenza all'estrazione sia in fase di posa in opera che nella successiva fase di esercizio, viene inserito attraverso il fusto cavo della trivella. Raggiunta la lunghezza desiderata, la trivella viene leggermente arretrata e, attraverso il suo fusto, si provvede a iniettare calcestruzzo ad resistenza fino al riempimento della cavità. Si deve pompare il fluido con una sia pure limitata pressione per garantire il completo riempimento della cavità e per espandere leggermente il diametro del foro, cosicché si possano realizzare condizioni di pressione del terreno superiori alle condizioni di spinta a riposo,  $K_0$ . Mentre il collaudo in fase di tesatura assicura la stabilità della paratia, è tuttavia necessario prevedere in anticipo la posizione dell'ancoraggio e le sue dimensioni principali. In generale, l'inclinazione dovrebbe essere compresa fra  $15^\circ$  e  $30^\circ$  rispetto all'orizzontale, affinché la componente verticale della forza di ancoraggio sulla palancolata non sia elevata. Una inclinazione modesta consente una più facile trivellazione e installazione dell'ancoraggio. È comune posizionare la porzione ancorata del cavo al di fuori della zona di pressione attiva con la rimanente parte del cavo lasciata libera ma protetta nei riguardi della corrosione. Quando l'estremità non è svasata o il diametro del foro è in qualche modo variabile nel senso della lunghezza, come si ottiene per effetto dell'iniettare malta/calcestruzzo in pressione, la resistenza di ancoraggio viene calcolata come segue:*

$$P_{ar} = \pi D \gamma L K \tan \varphi + c_a \pi D L$$

*dove  $c_a$  è l'adesione,  $D$  il diametro medio del foro,  $L$  la lunghezza del tratto in cui si è realizzata l'iniezione di malta e  $d_2$  la profondità media del tratto  $L$  in cui si è realizzata l'iniezione. L'uso di  $K = K_0$  può essere giustificato se l'iniezione di calcestruzzo avviene sotto pressione, come spesso accade; altrimenti si adotti  $K = K_a$ . Valori di  $K > K_0$  non sono consigliabili a causa degli effetti di scorrimento viscoso del terreno.*

## DATI GENERALI DELLA PARATIA SITO DI INTERVENTO N°2

### Proprietà della paratia

<b>Generale</b>		
Nome	Paratie di pali_28	
<b>Scavo</b>		
Quota di fondo scavo	3.00	m
<b>Geometria</b>		
Interasse pali	1.00	m
Lunghezza pali	3.00	m
Numero pali	20	
Sviluppo longitudinale	19.00	m

### Dati Sezione

Generale		
Nome	D600	
Geometria		
Tipo di sezione	circolare (diametro = 60.00 cm)	
Proprietà		
Area	2827.43	cm²
Inerzia Iy	636172.51	cm⁴
Inerzia Iz	636172.51	cm⁴
Raggio d'inerzia ry	15.00	cm
Raggio d'inerzia rz	15.00	cm
Modulo si resistenza Wy	21205.75	cm³
Modulo si resistenza Wz	0.00	cm³

### Materiale

Generale			
Nome		Calcestruzzo	
Generici			
Modulo di Young		300000.00	Kg/cm²
Coefficiente di Poisson		0.12	
Peso Specifico		2500.00	Kg/m³

### Criterio di verifica paratia

Generale			
Nome	Circolare trivellata CLS25/30		
Generici			
Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	$f_{ck,cube}$	300.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di snervamento acciaio	$f_{yk}$	4500.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Deformazione limite elastico calcestruzzo	$\epsilon_{c2}$	0.20	%
Deformazione ultima calcestruzzo	$\epsilon_{cu,2}$	0.35	%
Modello incrudente acciaio		No	
Rapporto tra tensione massima e di snervamento	$k = (f_u/f_y)_k$	--	
Deformazione ultima dell'acciaio (valore caratteristico)	$\epsilon_{uk}$	--	%
Modulo elastico acciaio	$E_s$	2100000.00	Kg/cm <sup>2</sup>
Coefficiente parziale di sicurezza calcestruzzo	$\gamma_{cls}$	1.50	
Coefficiente parziale di sicurezza acciaio	$\gamma_{acc}$	1.15	
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	0.85	
Coefficiente per le resistenze a taglio	$\eta=\eta_1 * \eta_2$	1.00	

## Verifica

Tecnologia pali		Trivellato
Coeff. di gruppo per la valutazione del carico limite verticale della palificata	$\eta_v$	1.00
Coeff. di gruppo per la valutazione del carico limite orizzontale della palificata	$\eta_h$	1.00
Valori caratteristici considerati in fase di verifica		minimi
Fatt. di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica (val. med)	$\xi_3$	1.70
Fatt. di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica (val. min)	$\xi_4$	1.70
Applica correzione di Kishida all'angolo d'attrito del terreno alla punta dei pali		Si

## Armatura

Copriferro di calcolo	4.00	cm
Step armatura	1	tond.
Diametro dei ferri	16.00	mm
Valore minimo percentuale dell'armatura del palo rispetto al calcestruzzo	1.00	%
Valore massimo percentuale dell'armatura del palo rispetto al calcestruzzo	6.00	%

## Armatura a taglio

Diametro staffe	12.00	mm
Numero di braccia	2	
Passo massimo staffe	20.00	cm
Passo minimo staffe	10.00	cm
Incremento passo staffe	1.00	cm

## Trave di coronamento

Copriferro di calcolo	5.00	cm
Step armatura	1	tond.
Diametro dei ferri	16	mm
Valore minimo percentuale dell'armatura del palo rispetto al cls	0.20	%
Valore massimo percentuale dell'armatura del palo rispetto al cls	4.00	%
Diametro staffe	12	mm
Numero di braccia	2	
Passo massimo staffe	30.00	cm
Passo minimo staffe	10.00	cm
Incremento passo staffe	1.00	cm

## Stato Limite di Servizio

Spostamento limite a quota fondo scavo	3.00	cm
Spostamento limite a quota testa paratia	3.00	cm

# STRATIGRAFIA

## Proprietà idrologiche del suolo

### Falda

Falda assente

## Profilo di monte

Punto	x [m]	y [m]
2	15.00	0.00

## Strati (\*)

N	z [m]	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	$\phi$ [°]	$\delta$ [°]	c [Kg/cm <sup>2</sup> ]	c <sub>a</sub> [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Add.	OCR	E [Kg/cm <sup>2</sup> ]	E <sub>ed</sub> [Kg/cm <sup>2</sup> ]	v	G [Kg/cm <sup>2</sup> ]
1	0.00	0.00	1800.00	1900.00	18.00	10.00	0.10	0.00	NO	1.00	35.00	50.00	0.30	13.46
2	4.00	6.00	2000.00	2100.00	29.00	10.00	0.05	0.00	NO	1.00	110.00	150.00	0.30	42.31
3	13.00	6.00	1800.00	1900.00	18.00	10.00	0.10	0.00	NO	1.00	35.00	50.00	0.30	13.46

## Simbologia

**z:** Profondità tetto dello strato dalla testa della paratia

**$\alpha$ :** Inclinazione dello strato

**$\gamma$ :** Peso dell'unità di volume

**$\gamma_{\text{sat}}$ :** Peso dell'unità di volume saturo

**$\varphi$ :** Angolo di resistenza a taglio

**$\delta$ :** Angolo di attrito terra paratia

**c:** Coesione

**$c_a$ :** Adesione terreno-paratia

**Add:** Stato di addensamento terreno (si = addensato; no = non addensato)

**OCR:** Grado di sovraconsolidazione

**$E_{\text{ed}}$ :** Modulo edometrico

**$\nu$ :** Coefficiente di Poisson

**G:** Modulo di elasticità tangenziale

(\*) Nota. Parametri geotecnici da correggere con i coefficienti parziali  $\gamma_M$  riportati nella sezione "Scenario di calcolo".

## CONDIZIONI DI CARICO

### Convenzione segni

- Azioni verticali positive se dirette dall'alto verso il basso;
- Azioni orizzontali positive se dirette da monte verso valle;
- Coppie positive se antiorarie;

### Condizione 1

Descrizione: Permanenti strutturali (G1)

Nessun carico definito per questa condizione...

### Condizione 2

Descrizione: Permanenti non strutturali (G2)

Nessun carico definito per questa condizione...

### Condizione 3

Descrizione: Variabili (Q)

Carichi nastriformi applicati sul terrapieno

Descrizione	x [m]	y [m]	Estensione [m]	$q_{\text{in}}$ [Kg/m <sup>2</sup> ]	$q_{\text{fin}}$ [Kg/m <sup>2</sup> ]
Carico nastriforme_34	1.00	2000.00	4.00	2000.00	2000.00

## Simbologia

**Descrizione:** Descrizione del carico;

**x, y:** Coordinate punto iniziale di applicazione del carico (Rif. globale) ;

**Estensione:** Estensione del carico;

**$q_{\text{in}}$ ,  $q_{\text{fin}}$ :** Intensità iniziale e finale carico;



## SPETTRI DI RISPOSTA

### NTC 2018 SLV

#### Proprietà dello spettro

Reticolo di riferimento			
Comune			--
Isola			--
Coordinate geografiche	28 03' 45" N	05 05' 35" E	[°]

#### Terreno e Topografia

Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T1

#### Tipologia strutturale

Tipo di costruzione	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari (50)		
Vita nominale della struttura	$V_N$	50.0	anni
Classe d'uso		II	
Coefficiente d'uso	$C_U$	1.00	
Vita di riferimento per l'azione sismica	$V_R$	50.0	anni

#### Stato limite

Tipo		SLV (Salvaguardia vita)	
Probabilità di superamento nel periodo di riferimento	$P_{VR}$	10.0	%
Periodo di ritorno	$T_R$	475.000	anni
Accelerazione orizzontale massima al sito adimensionalizzata	$a_g/g$	0.134	
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	$F_0$	2.478	
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S$	1.200	
Coefficiente di amplificazione topografica	$S_T$	1.000	
Coefficiente di deformabilità dei terreni interagenti con l'opera	$\alpha$	0.00	
Coefficiente di spostamento dell'opera	$\beta$	0.00	
Coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	0.161	
Coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.000	

### NTC 2018 SLD

#### Proprietà dello spettro

Reticolo di riferimento			
Comune			KK
Isola			--
Coordinate geografiche	28 03' 45" N	05 05' 35" E	[°]

#### Terreno e Topografia

Categoria di sottosuolo	B
Categoria topografica	T1

#### Tipologia strutturale

Tipo di costruzione	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari (50)		
Vita nominale della struttura	$V_N$	50.0	anni
Classe d'uso		II	
Coefficiente d'uso	$C_U$	1.00	
Vita di riferimento per l'azione sismica	$V_R$	50.0	anni

#### Stato limite

Tipo		SLD (Danno)	
Probabilità di superamento nel periodo di riferimento	$P_{VR}$	63.0	%
Periodo di ritorno	$T_R$	50.000	anni
Accelerazione orizzontale massima al sito adimensionalizzata	$a_g/g$	0.082	
Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale	$F_0$	2.368	
Coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S$	1.200	

<i>Coefficiente di amplificazione topografica</i>	$S_T$	1.000
<i>Coefficiente di deformabilità dei terreni interagenti con l'opera</i>	$\alpha$	0.00
<i>Coefficiente di spostamento dell'opera</i>	$\beta$	0.00
<i>Coefficiente sismico orizzontale</i>	$k_h$	0.099
<i>Coefficiente sismico verticale</i>	$k_v$	0.000

## SCENARIO DI CALCOLO

Nome: Pali trivellati

### Combinazione 1

Descrizione: STRGEO-(A1+M1+R1)

Verifiche attive: Atto di moto rigido, Resistenza strutturale ancoraggi, Resistenza strutturale paratia, Resistenza strutturale trave

Tipo: Non Sismica (SLU)

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.30
Geotecniche Permanenti	1.00	1.30
Spinta idrostatica	1.00	1.30
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.30
Permanenti non strutturali (G2)	0.80	1.50
Variabili (Q)	0.00	1.50

## Combinazione 2

Descrizione: STR-(A2+M2+R1)

Verifiche attive: Atto di moto rigido, Resistenza strutturale ancoraggi, Resistenza strutturale paratia, Resistenza strutturale trave

Tipo: Non Sismica (SLU)

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.25
Coesione efficace	1.00	1.25
Resistenza non drenata	1.00	1.40
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.00
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (G2)	0.80	1.30
Variabili (Q)	0.00	1.50

## Combinazione 3

Descrizione: UPL(M2)

Verifiche attive: Verifica sollevamento

Tipo: Non Sismica (SLU)

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.25
Coesione efficace	1.00	1.25
Resistenza non drenata	1.00	1.40
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	0.90	1.10
Geotecniche Permanenti	0.90	1.10
Spinta idrostatica	0.90	1.10
Permanenti strutturali (G1)	0.90	1.10
Permanenti non strutturali (G2)	0.80	1.50
Variabili (Q)	0.00	1.50

### Combinazione 4

Descrizione: HYDR(UPL-M2)

Verifiche attive: Verifica sifonamento

Tipo: Non Sismica (SLU)

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.25
Coesione efficace	1.00	1.25
Resistenza non drenata	1.00	1.40
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	2.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	0.90	1.10
Geotecniche Permanenti	0.90	1.10
Spinta idrostatica	0.90	1.10
Permanenti strutturali (G1)	0.90	1.10

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
<i>Permanenti non strutturali (G2)</i>	<i>0.80</i>	<i>1.50</i>
<i>Variabili (Q)</i>	<i>0.00</i>	<i>1.50</i>

### **Combinazione 5**

Descrizione: STAB-(A2+M2+R2)

Verifiche attive: Stabilità globale

Tipo: Non Sismica (SLU)

### *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)*

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
<i>Tangente angolo resistenza taglio</i>	<i>1.00</i>	<i>1.25</i>
<i>Coesione efficace</i>	<i>1.00</i>	<i>1.25</i>
<i>Resistenza non drenata</i>	<i>1.00</i>	<i>1.40</i>
<i>Peso unità di volume</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Coefficiente di permeabilità</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

### *Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)*

Tipo di Verifica	Coefficiente
<i>Atto di moto rigido</i>	<i>1.00</i>
<i>Carico limite verticale</i>	<i>1.00</i>
<i>Sfilamento ancoraggi</i>	<i>1.00</i>
<i>Stabilità globale</i>	<i>1.10</i>
<i>Resistenza strutturale ancoraggi</i>	<i>1.00</i>
<i>Resistenza strutturale paratia</i>	<i>1.00</i>
<i>Sifonamento</i>	<i>1.00</i>
<i>Sollevamento</i>	<i>1.00</i>
<i>Controllo degli spostamenti</i>	<i>1.00</i>

### *Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)*

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
<i>Strutturali Permanenti</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Geotecniche Permanenti</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Spinta idrostatica</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Permanenti strutturali (G1)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Permanenti non strutturali (G2)</i>	<i>0.80</i>	<i>1.30</i>
<i>Variabili (Q)</i>	<i>0.00</i>	<i>1.50</i>

## Combinazione 6

Descrizione: GEO-(A1+M1+R3)

Verifiche attive: Carico limite verticale, Sfilamento ancoraggi

Tipo: Non Sismica (SLU)

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.20
Resistenza strutturale paratia	1.15
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.35

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.30	1.30
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (G2)	0.80	1.50
Variabili (Q)	0.00	1.50

## Combinazione 7

Descrizione: SISMA\_SLV

Verifiche attive: Atto di moto rigido, Carico limite verticale, Sfilamento ancoraggi, Stabilità globale, Resistenza strutturale ancoraggi, Resistenza strutturale paratia, Resistenza strutturale trave

Tipo: Sismica

NTC 2018 SLV

Fattore sisma: 1.00

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.10
Resistenza strutturale ancoraggi	1.20
Resistenza strutturale paratia	1.15
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.35

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.00
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (G2)	1.00	1.00
Variabili (Q)	1.00	1.00

### Combinazione 8

Descrizione: SISMA\_SLD

Verifiche attive: Controllo degli spostamenti

Tipo: Sismica

NTC 2018 SLD

Fattore sisma: 1.00

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.00
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00



Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
<i>Permanenti non strutturali (G2)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Variabili (Q)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

### **Combinazione 9**

Descrizione: Esercizio

Verifiche attive: Controllo degli spostamenti

Tipo: Rara

### *Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)*

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
<i>Tangente angolo resistenza taglio</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Coesione efficace</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Resistenza non drenata</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Peso unità di volume</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Coefficiente di permeabilità</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

### *Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)*

Tipo di Verifica	Coefficiente
<i>Atto di moto rigido</i>	<i>1.00</i>
<i>Carico limite verticale</i>	<i>1.00</i>
<i>Sfilamento ancoraggi</i>	<i>1.00</i>
<i>Stabilità globale</i>	<i>1.00</i>
<i>Resistenza strutturale ancoraggi</i>	<i>1.00</i>
<i>Resistenza strutturale paratia</i>	<i>1.00</i>
<i>Sifonamento</i>	<i>1.00</i>
<i>Sollevamento</i>	<i>1.00</i>
<i>Controllo degli spostamenti</i>	<i>1.00</i>

### *Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)*

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
<i>Strutturali Permanenti</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Geotecniche Permanenti</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Spinta idrostatica</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Permanenti strutturali (G1)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Permanenti non strutturali (G2)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>
<i>Variabili (Q)</i>	<i>1.00</i>	<i>1.00</i>

### Combinazione 10

Descrizione: Esercizio

Verifiche attive: Controllo degli spostamenti

Tipo: Frequente

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

#### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

#### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.00
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (G2)	1.00	1.00
Variabili (Q)	1.00	1.00

### Combinazione 11

Descrizione: Esercizio

Verifiche attive: Controllo degli spostamenti

Tipo: Quasi Permanente

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (M)

Parametro Geotecnico	Coeff. per calcolo azione GEO	Coeff. per calcolo resistenza GEO
Tangente angolo resistenza taglio	1.00	1.00
Coesione efficace	1.00	1.00
Resistenza non drenata	1.00	1.00
Peso unità di volume	1.00	1.00
Coefficiente di permeabilità	1.00	1.00

### Coefficienti parziali per le verifiche SLU (R)

Tipo di Verifica	Coefficiente
Atto di moto rigido	1.00
Carico limite verticale	1.00
Sfilamento ancoraggi	1.00
Stabilità globale	1.00
Resistenza strutturale ancoraggi	1.00
Resistenza strutturale paratia	1.00
Sifonamento	1.00
Sollevamento	1.00
Controllo degli spostamenti	1.00

### Coefficienti parziali per le azioni e coefficienti di combinazione (A)

Condizione di Carico	Coeff. azioni favorevoli	Coeff. azioni sfavorevoli
Strutturali Permanenti	1.00	1.00
Geotecniche Permanenti	1.00	1.00
Spinta idrostatica	1.00	1.00
Permanenti strutturali (G1)	1.00	1.00
Permanenti non strutturali (G2)	1.00	1.00
Variabili (Q)	1.00	1.00

**NOTA:** Per i pesi propri la condizione di carico viene sempre combinata con il coefficiente 'Favorevole'.

## SETTAGGI DI CALCOLO

### Proprietà del calcolo

#### Generale

Nome Calcolo 5

#### Generici

Scenario di calcolo Pali trivellati

#### Spinte del terreno

Condizioni non sismiche

Coulomb

Condizioni sismiche

Mononobe - Okabe

#### Verifica di Stabilità Globale

Formulazione

Fellenius

Ampiezza delle striscie

0.50 m

Step incremento raggio

0.50 m

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI

### Verifica Geotecnica atto di moto rigido

La verifica di moto rigido della paratia rispetto a un punto è condotta controllando che il momento stabilizzante sia sufficiente a contrastare il momento ribaltante, valutato rispetto allo stesso punto di rotazione. La verifica è condotta per paratie libere o con un solo livello di vincolo.

*Il punto di rotazione rigida è scelto sulla base delle analisi effettuate in fase di calcolo delle sollecitazioni agenti sulla struttura. È assunto coincidente con il punto in cui si annullano le reazioni del terreno (punto di spostamento orizzontale nullo) se la paratia è a sbalzo, oppure con il punto di applicazione del tirante, se quest'ultima è vincolata.*

*Il calcolo è svolto considerando che sia mobilitata tutta la resistenza del terreno sia a monte che a valle; ai fini della modellazione tale condizione è riprodotta considerando che tutte molle reagiscono con la massima resistenza.*

#### *Risultati analisi*

<b>Comb.</b>	<b>Z<sub>0</sub></b> [m]	<b>S<sub>d</sub></b> [kg]	<b>R<sub>d</sub></b> [kg]	<b>M<sub>d</sub></b> [kg*m]	<b>MR<sub>d</sub></b> [kg*m]	<b>Sf<sub>tr</sub></b>	<b>Sf<sub>rib</sub></b>	<b>Esito</b>
STRGEO-(A1+M1+R1)	6.41	-9150.47	297032.80	23840.23	672501.30	32.46	28.21	Sodd.
STR-(A2+M2+R1)	6.86	-8482.53	174601.41	25075.57	-107957.84	20.58	4.31	Sodd.
SISMA_SLV	6.42	-7298.97	297032.80	19074.79	672739.76	40.70	35.27	Sodd.

#### **Simbologia**

**Comb.:** Combinazione di carico

**Z<sub>0</sub>:** Quota del centro di rotazione

**S<sub>d</sub>:** Azione di progetto alla traslazione

**M<sub>d</sub>:** Momento ribaltante di progetto rispetto al punto di rotazione **Z<sub>0</sub>**

**MR<sub>d</sub>:** Momento resistente rispetto al punto di rotazione **Z<sub>0</sub>**

**Sf<sub>tr</sub>:** Coefficiente di sicurezza alla traslazione

**Sf<sub>rib</sub>:** Coefficiente di sicurezza alla rotazione

## Verifica Strutturale Paratia

Di seguito è riportata la verifica strutturale della paratia eseguita in conformità delle normative vigenti.

### Verifica a Pressoflessione

Sezione: circolare (diametro = 60.00 cm), copriferro: 4.00 cm

Comb.	s [m]	Sollecitazioni di progetto		Resistenze di progetto		Afm	Afv	Sf <sub>min</sub>	Esito
		N <sub>d</sub> [Kg]	M <sub>d</sub> [Kg*m]	N <sub>Rd</sub> [Kg]	M <sub>Rd</sub> [Kg*m]				
STRGEO-(A1+M1+P1)	0.00	-555.20	0.00	-555.20	26722.66	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	0.75	-1085.34	-186.67	-1085.34	26813.04	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	1.50	-1615.49	-1180.18	-1615.49	26903.31	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	2.25	-2145.63	-3154.76	-2145.63	26993.47	15Ø16	--	8.56	Sodd.
	3.00	-2675.77	-6318.46	-2675.77	27083.52	15Ø16	--	4.29	Sodd.
	5.95	-4758.14	-8657.57	-4758.14	27436.10	15Ø16	--	3.17	Sodd.
	8.86	-6821.40	-255.55	-6821.40	27783.59	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	11.78	-8884.66	304.02	-8884.66	28129.15	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	15.00	-11158.07	0.00	-11158.07	28507.55	15Ø16	--	> 10	Sodd.
STR-(A2+M2+P1)	0.00	-555.20	0.00	-555.20	26722.66	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	0.75	-1085.34	-186.67	-1085.34	26813.04	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	1.50	-1615.49	-1180.18	-1615.49	26903.31	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	2.25	-2145.63	-3141.89	-2145.63	26993.47	15Ø16	--	8.59	Sodd.
	3.00	-2675.77	-6198.39	-2675.77	27083.52	15Ø16	--	4.37	Sodd.
	5.95	-4758.14	-9891.02	-4758.14	27436.10	15Ø16	--	2.77	Sodd.
	8.86	-6821.40	-1354.90	-6821.40	27783.59	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	11.78	-8884.66	449.49	-8884.66	28129.15	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	15.00	-11158.07	0.00	-11158.07	28507.55	15Ø16	--	> 10	Sodd.
SISMA_SLV	0.00	-555.20	0.00	-555.20	26722.66	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	0.75	-1085.34	-124.45	-1085.34	26813.04	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	1.50	-1615.49	-788.15	-1615.49	26903.31	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	2.25	-2145.63	-2197.84	-2145.63	26993.47	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	3.00	-2675.77	-4689.16	-2675.77	27083.52	15Ø16	--	5.78	Sodd.
	5.95	-4758.14	-6714.49	-4758.14	27436.10	15Ø16	--	4.09	Sodd.
	8.86	-6821.40	-208.03	-6821.40	27783.59	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	11.78	-8884.66	236.05	-8884.66	28129.15	15Ø16	--	> 10	Sodd.
	15.00	-11158.07	0.00	-11158.07	28507.55	15Ø16	--	> 10	Sodd.

### Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

**s:** ascissa locale (origine in testa alla paratia)

**D:** Diametro pali

**c:** Copriferro di calcolo

**N<sub>d</sub>:** Sforzo Normale di progetto

**M<sub>d</sub>:** Momento flettente di progetto

**N<sub>Rd</sub>:** Sforzo Normale ultimo corrispondente a M<sub>Rd</sub> (in genere = N<sub>d</sub>)

**M<sub>R</sub>:** Sforzo Normale ultimo della sezione

**Afm:** Armatura del lato di monte della paratia per sezioni rettangolari, oppure armatura totale per sezioni circolari

**Afv:** Armatura del lato di valle della paratia (solo per sezioni rettangolari)

**Sf<sub>min</sub>** Coefficiente di sicurezza minimo

## Verifica a Taglio

Comb. [m]	s [m]	V <sub>d</sub> [Kg]	V <sub>Rds</sub> [Kg]	V <sub>RdMax</sub> [Kg]	V <sub>Rd</sub> [Kg]	Staffe Ø[mm]/passo[cm]/ bracci	Sf <sub>min</sub>	Esito
STRGEO-(A1+ M1+R1)	0.00	0.00	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	0.75	-696.80	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	1.50	-1963.06	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	2.25	-3359.97	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	3.00	-5100.76	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	7.88	Sodd.
	5.95	3690.68	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	8.86	1067.01	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	11.78	-209.21	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	15.00	-5.37	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
STR-(A2+M2+ R1)	0.00	0.00	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	0.75	-696.80	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	1.50	-1963.06	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	2.25	-3304.02	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	3.00	-4854.13	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	8.28	Sodd.
	5.95	2946.27	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	8.86	1711.67	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	11.78	-151.86	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	15.00	-16.41	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
SISMA_SLV	0.00	0.00	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	0.75	-464.53	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	1.50	-1325.10	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	2.25	-2518.21	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	3.00	-4163.47	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	9.65	Sodd.
	5.95	2841.72	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	8.86	833.19	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	11.78	-161.68	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.
	15.00	-4.20	40190.42	52353.21	40190.42	1Ø12/20	> 10	Sodd.

### Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

**s:** ascissa locale (origine in testa alla paratia)

**V<sub>d</sub>:** Taglio di progetto

**V<sub>Rds</sub>:** Sforzo di taglio supportato da un elemento dotato di armature trasversali

**V<sub>RdMax</sub>:** Sforzo di taglio limitato dalla resistenza delle bielle compresse

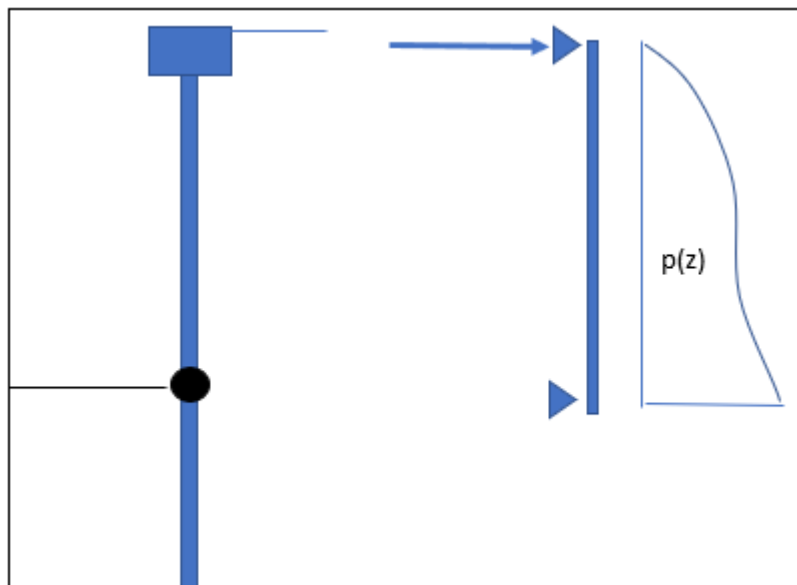
**V<sub>Rd</sub>:** Resistenza a taglio della sezione

**Staffe:** Armatura trasversale

**Sf<sub>min</sub>** Coefficiente di sicurezza minimo

## Verifica Strutturale Trave Coronamento

Di seguito è riportata la verifica strutturale della paratia eseguita in conformità delle normative vigenti. La trave di coronamento è calcolata nella ipotesi che uno dei pali si plasticizzi in corrispondenza della quota di fondo scavo in modo che il palo sia assimilabile a una trave appoggiata caricata con la spinta del terreno nella combinazione prescelta.



La reazione del palo è considerata come una forza concentrata nella mezzeria di una trave di lunghezza pari a due interassi dei pali  $L=2*i$ .

Nel caso siano presenti tiranti situati nella altezza della trave, la condizione di carico che si considera è quella di una trave di lunghezza  $L=2*i$  caricata con un carico distribuito

$$q = \frac{T}{i_{\text{tirante}}}$$

dato dalla azione nel tirante diviso l'interasse dei tiranti

## Verifica a Pressoflessione

Sezione: rettangolare ( $b = 60.00 \text{ cm}$ ,  $h = 70.00 \text{ cm}$ ), copriferro:  $5.00 \text{ cm}$

Comb.	s [m]	Sollecitazioni di progetto		Resistenze di progetto		A <sub>fm</sub>	A <sub>fv</sub>	S <sub>fmin</sub>	Esito
		N <sub>d</sub> [Kg]	M <sub>d</sub> [Kg*m]	N <sub>Rd</sub> [Kg]	M <sub>Rd</sub> [Kg*m]				
STRGEO-(A1+ M1+D1)	--	0.00	1052.62	0.00	12884.79	2Ø16+1Ø16	2Ø16+1Ø16	> 10	Sodd.
STR-(A2+M2+ D1)	--	0.00	1032.67	0.00	12884.79	2Ø16+1Ø16	2Ø16+1Ø16	> 10	Sodd.
SISMA_SLV	--	0.00	781.08	0.00	12884.79	2Ø16+1Ø16	2Ø16+1Ø16	> 10	Sodd.

## Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

**s:** ascissa locale (origine in testa alla paratia)

**D:** Diametro pali

**c:** Copriferro di calcolo

**N<sub>d</sub>:** Sforzo Normale di progetto

**M<sub>d</sub>:** Momento flettente di progetto

**N<sub>Rd</sub>** : Sforzo Normale ultimo corrispondente a  $M_{Rd}$  (in genere =  $N_d$ )

**M<sub>R</sub>**: Sforzo Normale ultimo della sezione

**A<sub>fm</sub>**: Armatura del lato di monte della paratia per sezioni rettangolari, oppure armatura totale per sezioni circolari

**A<sub>fv</sub>**: Armatura del lato di valle della paratia (solo per sezioni rettangolari)

**S<sub>fmin</sub>** Coefficiente di sicurezza minimo

### Verifica a Taglio

Comb. [m]	s [m]	V <sub>d</sub> [Kg]	V <sub>Rds</sub> [Kg]	V <sub>RdMax</sub> [Kg]	V <sub>Rd</sub> [Kg]	Staffe Ø[mm]/passo[cm]/bracci	S <sub>fmin</sub>	Esito
STRGEO-(A1+M1+R1)	--	1052.62	36510.77	84295.09	36510.77	1Ø12/30/2	> 10	Sodd.
STR-(A2+M2+R1)	--	1032.67	36510.77	84295.09	36510.77	1Ø12/30/2	> 10	Sodd.
SISMA_SLV	--	781.08	36510.77	84295.09	36510.77	1Ø12/30/2	> 10	Sodd.

### Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

**s:** ascissa locale (origine in testa alla paratia)

**V<sub>d</sub>:** Taglio di progetto

**V<sub>Rds</sub>:** Sforzo di taglio supportato da un elemento dotato di armature trasversali

**V<sub>RdMax</sub>:** Sforzo di taglio limitato dalla resistenza delle bielle compresse

**V<sub>Rd</sub>:** Resistenza a taglio della sezione

**Staffe:** Armatura trasversale

**S<sub>fmin</sub>** Coefficiente di sicurezza minimo

### Verifica di Stabilità Globale

L'insieme muro-terreno è spesso caratterizzato da una complessa e irregolare morfologia superficiale e profonda e da una forte variabilità delle condizioni stratigrafiche e geotecniche. Per tale motivo, nella verifica di stabilità globale si ricorre, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite, ai cosiddetti metodi delle strisce, suddividendo idealmente la porzione di terreno delimitato dalla superficie di scorrimento e dalla superficie topografica in  $n$  conci mediante  $n-1$  tagli verticali tali che l'arco di cerchio alla base di ciascuno di essi ricada interamente in un unico tipo di terreno.

Le ipotesi generalmente ammesse da quasi tutti i metodi delle strisce sono:

- stato di deformazione piano ovvero superficie cilindrica e trascurabilità degli effetti tridimensionali,
- arco della superficie di scorrimento alla base del concio approssimabile con la relativa corda,
- comportamento del terreno rigido-perfettamente plastico e criterio di rottura di Mohr-Coulomb,
- coefficiente di sicurezza  $F$  uguale per la componente di coesione e per quella di attrito, e unico per tutti i conci.

Analizzando le forze agenti su un concio emerge che il numero delle incognite è superiore al numero delle equazioni di equilibrio: il sistema di equazioni risulta dunque indeterminato.

Per ridurre il numero delle incognite e rendere il problema staticamente determinato è necessario introdurre ulteriori ipotesi semplificative. I diversi metodi delle strisce differiscono sulle ulteriori ipotesi semplificative assunte, cosicché, a parità di geometria e di caratteristiche fisico-meccaniche del terreno, il risultato dell'analisi, in termini di superficie di scorrimento critica e di coefficiente di sicurezza, non è unico ma dipende dal metodo adottato.

I due più semplici e più diffusi metodi delle strisce sono il metodo di Fellenius ed il metodo di Bishop, i quali assumono l'ipotesi comune di superficie di scorrimento circolare, sufficientemente verificata quando non vi siano condizioni stratigrafiche e geotecniche particolari.

Tale ipotesi consente di calcolare il coefficiente di sicurezza come rapporto fra momento stabilizzante  $M_s$  e momento ribaltante  $M_R$  rispetto al centro della circonferenza.

Il più antico e più semplice metodo delle strisce è il metodo di Fellenius, caratterizzato dalla seguente ulteriore ipotesi semplificativa:



- per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione normale alla superficie di scorrimento delle forze agenti sulle facce laterali è nulla.

Tale ipotesi consente di ricavare l'equazione generale che fornisce il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale secondo Fellenius:

$$F = \frac{M_s}{M_R} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{c \Delta x_i}{\cos \alpha_i} + \left( (W_i + Q_i)(1 - k_v) \cos \alpha_i - W_i k_h \sin \alpha_i - \frac{u_i \Delta x_i}{\cos \alpha_i} \right) \tan \varphi_i \right]}{\sum_{i=1}^n \left[ (W_i + Q_i)(1 - k_v) \sin \alpha_i - W_i k_h \frac{d_i}{R} \right]}$$

essendo:

$c$	la coesione efficace alla base della striscia;
$\varphi_i$	l'angolo di resistenza a taglio alla base della striscia;
$\Delta x_i$	la larghezza della striscia $i$ -ma;
$\alpha_i$	l'inclinazione della base della striscia $i$ -ma rispetto all'orizzontale;
$W_i$	il peso totale della striscia $i$ -ma;
$Q_i$	la risultante dei carichi gravanti sulla striscia $i$ -ma;
$k_h$ e $k_v$	i coefficienti sismici orizzontale e verticale;
$u_i$	la pressione indotta dalla falda alla base della striscia;
$d_i$	il braccio della forza d'inerzia rispetto al centro della circonferenza;
$R$	il raggio della circonferenza.

Il metodo di Fellenius è in genere conservativo, poiché porta ad una sottostima del coefficiente di sicurezza rispetto ai valori stimati con altri metodi più accurati.

Il metodo di Bishop è attualmente il più diffuso ed utilizzato fra i metodi delle strisce. Esso è caratterizzato dalla seguente ulteriore ipotesi semplificativa:

- per ogni concio la risultante delle componenti nella direzione verticale delle forze agenti sulle facce laterali è nulla.

Operate le opportune semplificazioni, tale ipotesi consente di ricavare l'equazione generale che fornisce il coefficiente di sicurezza alla stabilità globale secondo Bishop:

$$F = \frac{M_s}{M_R} = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{c \Delta x_i}{\cos \alpha_i} + \left( (W_i + Q_i)(1 - k_v) - \frac{u_i \Delta x_i}{\cos \alpha_i} \right) \tan \varphi_i \right] \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \tan \varphi_i / F}}{\sum_{i=1}^n \left[ (W_i + Q_i)(1 - k_v) \sin \alpha_i + W_i k_h \frac{d_i}{R} \right]}$$

Per la determinazione del coefficiente di sicurezza, è richiesta una procedura iterativa: si fissa dapprima un valore di tentativo di  $F$  da inserire al secondo membro e si ricava un successivo valore di tentativo; la procedura iterativa continua fino a raggiungere il grado di approssimazione desiderato.

La ricerca della superficie circolare critica e del relativo coefficiente di sicurezza viene effettuata fissando una griglia dei centri a maglia rettangolare o quadrata ed eseguendo, per ciascun centro, diverse analisi di stabilità.

Nello specifico, per ogni centro vengono eseguite diverse analisi, variando il raggio del cerchio critico; il

valore minimo del coefficiente di sicurezza fornito dalle analisi viene poi assunto come coefficiente di sicurezza minimo associato al centro comune dei cerchi considerati.

Ripetendo la procedura per tutti i centri del reticolo, si otterrà un piano quotato, di cui si potranno tracciare le linee di livello che descrivono una porzione di superficie tridimensionale. Se tale superficie presenta un minimo, il punto corrispondente al minimo avrà come coordinate planimetriche le coordinate del centro della superficie circolare critica e come quota il coefficiente di sicurezza del pendio. Se la superficie presenta più minimi relativi esistono più superfici critiche di scorrimento potenziale.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno viene effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali per le azioni e per i parametri geotecnici riportati rispettivamente nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II - NTC e dei coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo riportati nella Tab. 6.8.I - NTC.

Per maggiori dettagli sui valori numerici dei coefficienti parziali assunti nel presente calcolo, si rimanda alla sezione "Scenari di calcolo".

Di seguito è riportata la sintesi dei risultati di verifica.

Formulazione: Fellenius

Griglia dei centri

$x_0$ [m]	$y_0$ [m]	$p$ [m]	$n_{px}$	$n_{py}$
-2.00	0.00	2.00	4	4

#### Simbologia

$x_0, y_0$ : Coordinate origine della griglia dei centri (vertice in basso a sinistra)

$p$ : Passo della griglia;

$n_{px}, n_{py}$ : Numero passi in direzione x e y

Dati strisce (Combinazione STAB-(A2+M2+R2))

Striscia	$x_i$ [m]	$x_f$ [m]	$l$ [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	$c$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$u$ [Kg/m <sup>2</sup> ]
1	-12.00	-11.51	0.49	-32.62	14.57	0.08	0.00
2	-11.51	-11.02	0.49	-30.79	14.57	0.08	0.00
3	-11.02	-10.53	0.49	-29.00	14.57	0.08	0.00
4	-10.53	-10.04	0.49	-27.23	14.57	0.08	0.00
5	-10.04	-9.55	0.49	-25.50	14.57	0.08	0.00
6	-9.55	-9.05	0.49	-23.79	14.57	0.08	0.00
7	-9.05	-8.56	0.49	-22.10	14.57	0.08	0.00
8	-8.56	-8.07	0.49	-20.43	14.57	0.08	0.00
9	-8.07	-7.58	0.49	-18.78	14.57	0.08	0.00
10	-7.58	-7.09	0.49	-17.15	14.57	0.08	0.00
11	-7.09	-6.60	0.49	-15.53	14.57	0.08	0.00
12	-6.60	-6.11	0.49	-13.92	14.57	0.08	0.00
13	-6.11	-5.62	0.49	-12.33	14.57	0.08	0.00
14	-5.62	-5.13	0.49	-10.74	14.57	0.08	0.00
15	-5.13	-4.64	0.49	-9.16	14.57	0.08	0.00
16	-4.64	-4.15	0.49	-7.59	14.57	0.08	0.00

Striscia	$x_i$ [m]	$x_f$ [m]	$l$ [m]	$\alpha$ [°]	$\phi$ [°]	$c$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$u$ [Kg/m <sup>2</sup> ]
17	-4.15	-3.65	0.49	-6.03	14.57	0.08	0.00
18	-3.65	-3.16	0.49	-4.47	14.57	0.08	0.00
19	-3.16	-2.67	0.49	-2.91	14.57	0.08	0.00
20	-2.67	-2.18	0.49	-1.35	14.57	0.08	0.00
21	-2.18	-1.69	0.49	0.20	14.57	0.08	0.00
22	-1.69	-1.20	0.49	1.76	14.57	0.08	0.00
23	-1.20	-0.71	0.49	3.31	14.57	0.08	0.00
24	-0.71	-0.22	0.49	4.87	14.57	0.08	0.00
25	-0.22	0.27	0.49	6.43	14.57	0.08	0.00
26	0.27	0.76	0.49	8.00	14.57	0.08	0.00
27	0.76	1.25	0.49	9.57	14.57	0.08	0.00
28	1.25	1.75	0.49	11.15	14.57	0.08	0.00
29	1.75	2.24	0.49	12.74	14.57	0.08	0.00
30	2.24	2.73	0.49	14.34	14.57	0.08	0.00
31	2.73	3.22	0.49	15.95	14.57	0.08	0.00
32	3.22	3.71	0.49	17.57	14.57	0.08	0.00
33	3.71	4.20	0.49	19.21	14.57	0.08	0.00
34	4.20	4.69	0.49	20.86	14.57	0.08	0.00
35	4.69	5.18	0.49	22.54	14.57	0.08	0.00
36	5.18	5.67	0.49	24.23	14.57	0.08	0.00
37	5.67	6.16	0.49	25.95	14.57	0.08	0.00
38	6.16	6.65	0.49	27.69	14.57	0.08	0.00
39	6.65	7.15	0.49	29.46	14.57	0.08	0.00
40	7.15	7.64	0.49	31.26	14.57	0.08	0.00
41	7.64	8.13	0.49	33.10	14.57	0.08	0.00
42	8.13	8.62	0.49	34.97	14.57	0.08	0.00
43	8.62	9.11	0.49	36.89	14.57	0.08	0.00
44	9.11	9.60	0.49	38.86	14.57	0.08	0.00
45	9.60	10.09	0.49	40.89	14.57	0.08	0.00
46	10.09	10.58	0.49	42.98	14.57	0.08	0.00
47	10.58	11.07	0.49	45.14	14.57	0.08	0.00
48	11.07	11.56	0.49	47.39	14.57	0.08	0.00
49	11.41	11.90	0.49	49.00	14.57	0.08	0.00
50	12.05	12.55	0.49	52.21	23.91	0.04	0.00
51	12.55	13.04	0.49	54.83	23.91	0.04	0.00
52	13.04	13.53	0.49	57.63	23.91	0.04	0.00
53	13.53	14.02	0.49	60.67	23.91	0.04	0.00
54	14.02	14.51	0.49	64.03	23.91	0.04	0.00
55	14.51	15.00	0.49	67.86	23.91	0.04	0.00

### Simbologia

**Striscia:** Indice striscia (strisce ordinate da valle a monte)

**$x_i$ ,  $x_f$ :** Ascisse, iniziale e finale, della striscia

**$l$ :** Larghezza della striscia

**$\alpha$ :** Angolo formato dalla secante al cerchio critico, in corrispondenza della striscia, rispetto all'orizzontale

**$\phi$ :** Angolo di resistenza al taglio del terreno alla base della striscia

**$c$ :** Coesione del terreno alla base della striscia ( $c = c_u$  se  $\phi = 0$ )

**$u$ :** Pressione idrostatica alla base della striscia

*Dati conchi (Combinazione STAB-(A2+M2+R2))*

Striscia - Concio	Falda	$x_G$ [m]	$y_G$ [m]	Vol. [m <sup>3</sup> ]	kh*W [kg]	(1-kv)*W [kg]
-------------------	-------	--------------	--------------	---------------------------	--------------	------------------

Striscia - Concio	Falda	xG [m]	yG [m]	Vol. [m³]	kh*W [kg]	(1-kv)*W [kg]
1 - 1	no	-11.74	-14.74	0.49	0.00	890.50
1 - 2	no	-11.75	-9.74	4.42	0.00	8836.40
1 - 3	no	-11.76	-4.12	1.10	0.00	1975.34
2 - 1	no	-11.25	-14.87	0.67	0.00	1204.13
2 - 2	no	-11.26	-9.68	4.42	0.00	8836.40
2 - 3	no	-11.26	-4.09	1.07	0.00	1929.75
3 - 1	no	-10.77	-14.98	0.83	0.00	1499.18
3 - 2	no	-10.77	-9.63	4.42	0.00	8836.40
3 - 3	no	-10.77	-4.07	1.05	0.00	1884.16
4 - 1	no	-10.28	-15.09	0.99	0.00	1776.61
4 - 2	no	-10.28	-9.58	4.42	0.00	8836.40
4 - 3	no	-10.28	-4.04	1.02	0.00	1838.56
5 - 1	no	-9.79	-15.18	1.13	0.00	2037.29
5 - 2	no	-9.79	-9.53	4.42	0.00	8836.40
5 - 3	no	-9.79	-4.01	1.00	0.00	1792.97
6 - 1	no	-9.30	-15.27	1.27	0.00	2281.94
6 - 2	no	-9.30	-9.48	4.42	0.00	8836.40
6 - 3	no	-9.30	-3.99	0.97	0.00	1747.38
7 - 1	no	-8.81	-15.35	1.40	0.00	2511.23
7 - 2	no	-8.81	-9.43	4.42	0.00	8836.40
7 - 3	no	-8.81	-3.96	0.95	0.00	1701.79
8 - 1	no	-8.32	-15.42	1.51	0.00	2725.70
8 - 2	no	-8.32	-9.37	4.42	0.00	8836.40
8 - 3	no	-8.32	-3.94	0.92	0.00	1656.19
9 - 1	no	-7.82	-15.48	1.63	0.00	2925.87
9 - 2	no	-7.83	-9.32	4.42	0.00	8836.40
9 - 3	no	-7.83	-3.91	0.89	0.00	1610.60
10 - 1	no	-7.33	-15.53	1.73	0.00	3112.16
10 - 2	no	-7.34	-9.27	4.42	0.00	8836.40
10 - 3	no	-7.34	-3.89	0.87	0.00	1565.01
11 - 1	no	-6.84	-15.58	1.82	0.00	3284.96
11 - 2	no	-6.85	-9.22	4.42	0.00	8836.40
11 - 3	no	-6.85	-3.86	0.84	0.00	1519.41
12 - 1	no	-6.35	-15.62	1.91	0.00	3444.59
12 - 2	no	-6.35	-9.17	4.42	0.00	8836.40
12 - 3	no	-6.36	-3.83	0.82	0.00	1473.82
13 - 1	no	-5.86	-15.65	2.00	0.00	3591.35
13 - 2	no	-5.86	-9.12	4.42	0.00	8836.40
13 - 3	no	-5.87	-3.81	0.79	0.00	1428.23
14 - 1	no	-5.37	-15.67	2.07	0.00	3725.48
14 - 2	no	-5.37	-9.06	4.42	0.00	8836.40
14 - 3	no	-5.37	-3.78	0.77	0.00	1382.63
15 - 1	no	-4.88	-15.69	2.14	0.00	3847.20
15 - 2	no	-4.88	-9.01	4.42	0.00	8836.40
15 - 3	no	-4.88	-3.76	0.74	0.00	1337.04
16 - 1	no	-4.39	-15.70	2.20	0.00	3956.69
16 - 2	no	-4.39	-8.96	4.42	0.00	8836.40
16 - 3	no	-4.39	-3.73	0.72	0.00	1291.45
17 - 1	no	-3.90	-15.70	2.25	0.00	4054.09

Striscia - Concio	Falda	xG [m]	yG [m]	Vol. [m³]	kh*W [kg]	(1-kv)*W [kg]
17 - 2	no	-3.90	-8.91	4.42	0.00	8836.40
17 - 3	no	-3.90	-3.71	0.69	0.00	1245.86
18 - 1	no	-3.41	-15.70	2.30	0.00	4139.52
18 - 2	no	-3.41	-8.86	4.42	0.00	8836.40
18 - 3	no	-3.41	-3.68	0.67	0.00	1200.26
19 - 1	no	-2.92	-15.69	2.34	0.00	4213.07
19 - 2	no	-2.92	-8.81	4.42	0.00	8836.40
19 - 3	no	-2.92	-3.65	0.64	0.00	1154.67
20 - 1	no	-2.43	-15.67	2.37	0.00	4274.81
20 - 2	no	-2.43	-8.76	4.42	0.00	8836.40
20 - 3	no	-2.43	-3.63	0.62	0.00	1109.08
21 - 1	no	-1.94	-15.65	2.40	0.00	4324.76
21 - 2	no	-1.94	-8.70	4.42	0.00	8836.40
21 - 3	no	-1.94	-3.60	0.59	0.00	1063.48
22 - 1	no	-1.45	-15.62	2.42	0.00	4362.94
22 - 2	no	-1.45	-8.65	4.42	0.00	8836.40
22 - 3	no	-1.45	-3.58	0.57	0.00	1017.89
23 - 1	no	-0.95	-15.58	2.44	0.00	4389.34
23 - 2	no	-0.95	-8.60	4.42	0.00	8836.40
23 - 3	no	-0.96	-3.55	0.54	0.00	972.30
24 - 1	no	-0.46	-15.54	2.45	0.00	4403.90
24 - 2	no	-0.46	-8.55	4.42	0.00	8836.40
24 - 3	no	-0.47	-3.52	0.51	0.00	926.70
25 - 1	no	0.03	-15.49	2.45	0.00	4406.57
25 - 2	no	0.03	-8.50	4.42	0.00	8836.40
25 - 3	no	0.09	-2.25	1.31	0.00	2353.54
26 - 1	no	0.52	-15.43	2.44	0.00	4397.24
26 - 2	no	0.52	-8.45	4.42	0.00	8836.40
26 - 3	no	0.52	-1.97	1.94	0.00	3486.44
27 - 1	no	1.01	-15.37	2.43	0.00	4375.78
27 - 2	no	1.01	-8.39	4.42	0.00	8836.40
27 - 3	no	1.01	-1.95	1.91	0.00	3440.84
28 - 1	no	1.50	-15.30	2.41	0.00	4342.05
28 - 2	no	1.50	-8.34	4.42	0.00	8836.40
28 - 3	no	1.50	-1.92	1.89	0.00	3395.25
29 - 1	no	1.99	-15.22	2.39	0.00	4295.86
29 - 2	no	1.99	-8.29	4.42	0.00	8836.40
29 - 3	no	1.99	-1.90	1.86	0.00	3349.66
30 - 1	no	2.48	-15.14	2.35	0.00	4236.98
30 - 2	no	2.48	-8.24	4.42	0.00	8836.40
30 - 3	no	2.48	-1.87	1.84	0.00	3304.07
31 - 1	no	2.97	-15.04	2.31	0.00	4165.15
31 - 2	no	2.97	-8.19	4.42	0.00	8836.40
31 - 3	no	2.97	-1.84	1.81	0.00	3258.47
32 - 1	no	3.46	-14.94	2.27	0.00	4080.08
32 - 2	no	3.46	-8.14	4.42	0.00	8836.40
32 - 3	no	3.46	-1.82	1.78	0.00	3212.88
33 - 1	no	3.95	-14.84	2.21	0.00	3981.42
33 - 2	no	3.95	-8.08	4.42	0.00	8836.40
33 - 3	no	3.95	-1.79	1.76	0.00	3167.29

Striscia - Concio	Falda	xG [m]	yG [m]	Vol. [m³]	kh*W [kg]	(1-kv)*W [kg]
34 - 1	no	4.44	-14.72	2.15	0.00	3868.77
34 - 2	no	4.45	-8.03	4.42	0.00	8836.40
34 - 3	no	4.44	-1.77	1.73	0.00	3121.69
35 - 1	no	4.93	-14.60	2.08	0.00	3741.70
35 - 2	no	4.94	-7.98	4.42	0.00	8836.40
35 - 3	no	4.94	-1.74	1.71	0.00	3076.10
36 - 1	no	5.43	-14.47	2.00	0.00	3599.67
36 - 2	no	5.43	-7.93	4.42	0.00	8836.40
36 - 3	no	5.43	-1.71	1.68	0.00	3030.51
37 - 1	no	5.92	-14.33	1.91	0.00	3442.12
37 - 2	no	5.92	-7.88	4.42	0.00	8836.40
37 - 3	no	5.92	-1.69	1.66	0.00	2984.91
38 - 1	no	6.41	-14.18	1.82	0.00	3268.37
38 - 2	no	6.41	-7.83	4.42	0.00	8836.40
38 - 3	no	6.41	-1.66	1.63	0.00	2939.32
39 - 1	no	6.90	-14.02	1.71	0.00	3077.64
39 - 2	no	6.90	-7.77	4.42	0.00	8836.40
39 - 3	no	6.90	-1.64	1.61	0.00	2893.73
40 - 1	no	7.39	-13.85	1.59	0.00	2869.07
40 - 2	no	7.39	-7.72	4.42	0.00	8836.40
40 - 3	no	7.39	-1.61	1.58	0.00	2848.14
41 - 1	no	7.88	-13.67	1.47	0.00	2641.63
41 - 2	no	7.88	-7.67	4.42	0.00	8836.40
41 - 3	no	7.88	-1.59	1.56	0.00	2802.54
42 - 1	no	8.37	-13.48	1.33	0.00	2394.15
42 - 2	no	8.37	-7.62	4.42	0.00	8836.40
42 - 3	no	8.37	-1.56	1.53	0.00	2756.95
43 - 1	no	8.86	-13.27	1.18	0.00	2125.23
43 - 2	no	8.86	-7.57	4.42	0.00	8836.40
43 - 3	no	8.86	-1.53	1.51	0.00	2711.36
44 - 1	no	9.35	-13.06	1.02	0.00	1833.26
44 - 2	no	9.35	-7.52	4.42	0.00	8836.40
44 - 3	no	9.35	-1.51	1.48	0.00	2665.76
45 - 1	no	9.84	-12.83	0.84	0.00	1516.29
45 - 2	no	9.85	-7.47	4.42	0.00	8836.40
45 - 3	no	9.84	-1.48	1.46	0.00	2620.17
46 - 1	no	10.32	-12.58	0.65	0.00	1172.00
46 - 2	no	10.34	-7.41	4.42	0.00	8836.40
46 - 3	no	10.34	-1.46	1.43	0.00	2574.58
47 - 1	no	10.81	-12.32	0.44	0.00	797.55
47 - 2	no	10.83	-7.36	4.42	0.00	8836.40
47 - 3	no	10.83	-1.43	1.40	0.00	2528.98
48 - 1	no	11.27	-12.06	0.22	0.00	389.39
48 - 2	no	11.32	-7.31	4.42	0.00	8836.40
48 - 3	no	11.32	-1.41	1.38	0.00	2483.39
49 - 1	no	11.63	-11.84	0.02	0.00	34.32
49 - 2	no	11.81	-7.21	4.37	0.00	8737.89
49 - 3	no	11.81	-1.38	1.35	0.00	2437.80
50 - 1	no	12.30	-6.90	4.11	0.00	8228.44
50 - 2	no	12.30	-1.35	1.33	0.00	2392.21

Striscia - Concio	Falda	x <sub>G</sub> [m]	y <sub>G</sub> [m]	Vol. [m <sup>3</sup> ]	kh*W [kg]	(1-kv)*W [kg]
51 - 1	no	12.79	-6.54	3.81	0.00	7626.31
51 - 2	no	12.79	-1.33	1.30	0.00	2346.61
52 - 1	no	13.28	-6.15	3.48	0.00	6954.83
52 - 2	no	13.28	-1.30	1.28	0.00	2301.02
53 - 1	no	13.77	-5.71	3.10	0.00	6196.49
53 - 2	no	13.77	-1.28	1.25	0.00	2255.43
54 - 1	no	14.26	-5.22	2.66	0.00	5323.62
54 - 2	no	14.26	-1.25	1.23	0.00	2209.83
55 - 1	no	14.74	-4.65	2.14	0.00	4287.18
55 - 2	no	14.75	-1.22	1.20	0.00	2164.24

### Simbologia

**Striscia - Concio:** Indice striscia - indice concio (conci ordinati dal basso verso l'alto)

**Falda:** Indica se il concio è sotto falda

**x<sub>G</sub>, y<sub>G</sub>:** Coordinate baricentro del concio

**Vol:** Volume del concio

**kh\*W:** Eventuale forza inerziale relativa al concio (moltiplicata per il coeff. parziale per le azioni)

**(1-kv)\*W:** Peso del concio ridotto o incrementato dall'eventuale componente verticale del sisma (moltiplicato per il coeff. parziale per le azioni)

### Dati carichi sul profilo di monte (Combinazione STAB-(A2+M2+R2))

Striscia	Σq <sub>uFav</sub> [Kg]	Σq <sub>uSfav</sub> [Kg]	Σq <sub>nFav</sub> [Kg]	Σq <sub>nSfav</sub> [Kg]	Σq <sub>lFav</sub> [Kg]	Σq <sub>lSfav</sub> [Kg]	Σq <sub>pFav</sub> [Kg]	Σq <sub>pSfav</sub> [Kg]
27	0.00	0.00	0.00	763.48	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
29	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
33	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
34	0.00	0.00	0.00	1472.73	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.00	0.00	0.00	927.39	0.00	0.00	0.00	0.00

### Simbologia

**Striscia:** Indice striscia (strisce ordinate da valle a monte)

**Σq<sub>uFav</sub>(Sfav):** Risultante dei carichi di tipo uniforme agenti sulla i-ma striscia moltiplicato per γ<sub>Fav</sub> (γ<sub>Sfav</sub>)

**Σq<sub>nFav</sub>(Sfav):** Risultante dei carichi di tipo nastriforme agenti sulla i-ma striscia moltiplicato per γ<sub>Fav</sub> (γ<sub>Sfav</sub>)

**Σq<sub>lFav</sub>(Sfav):** Risultante dei carichi di tipo lineare agenti sulla i-ma striscia moltiplicato per γ<sub>Fav</sub> (γ<sub>Sfav</sub>)

**Σq<sub>pFav</sub>(Sfav):** Risultante dei carichi di tipo puntiforme agenti sulla i-ma striscia moltiplicato per γ<sub>Fav</sub> (γ<sub>Sfav</sub>)

*Nota. I singoli carichi sono moltiplicati per il coeff. parziale per le azioni*

### Risultati analisi

Comb.	C <sub>x</sub> [m]	C <sub>y</sub> [m]	R <sub>c</sub> [m]	M <sub>stab</sub> [kg m]	M <sub>destab</sub> [kg m]	Sf <sub>min</sub>	Esito
STAB-(A2+M2+R2)	-2.00	0.00	18.10	3302974.59	-2381262.19	1.39	Sodd.
SISMA_SLV	-2.00	0.00	18.10	4169722.96	-2361264.17	1.77	Sodd.

## Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

**C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub>:** Coordinate centro del cerchio di crisi (riferimento globale) cui corrisponde il coefficiente di sicurezza minimo

**R<sub>c</sub>:** Raggio del cerchio di crisi cui corrisponde il coefficiente di sicurezza minimo

**M<sub>stab</sub>:** Momento delle azioni resistenti

**M<sub>destab</sub>:** Momento delle azioni destabilizzanti

**Sf<sub>min</sub>:** Coefficiente di sicurezza minimo

*Nota. I valori dei momenti delle azioni resistenti portano in conto il coefficiente parziale  $\gamma_k$  riportato nella sezione "Scenario di calcolo".*

*Verifica strutturale degli ancoraggi non eseguita*

*Verifica geotecnica degli ancoraggi non eseguita*

### **Verifica a carico limite verticale dei pali**

*Il palo è un corpo cilindrico che oppone resistenza alla penetrazione nel terreno mediante tensioni tangenziali di attrito e/o di aderenza sulla superficie laterale e tensioni di compressione alla base.*

*La stima del carico limite verticale del singolo palo viene eseguita valutando i valori massimi, in condizioni di equilibrio limite, della resistenza laterale  $S$  e di quella di punta  $P$ :*

$$Q_{lim} = P + S = \frac{\pi d^2}{4} p + \pi d \int_0^L s \, dz$$

*essendo:*

$d$  il diametro del palo

$p$  la resistenza unitaria alla punta

$s$  la resistenza unitaria allo scorrimento all'interfaccia palo-terreno

*Il calcolo delle resistenze unitarie viene eseguito mediante le formule statiche, prescindendo dalle interferenze tra i fenomeni di rottura connessi alle resistenze massime  $P$  e  $S$ , e assumendo valide le seguenti ipotesi:*

- palo rigido,
- carico limite condizionato dalla resistenza del terreno e non da quella del palo,

*Per semplicità, si fa di seguito riferimento ad un terreno di fondazione omogeneo. In realtà un palo di fondazione attraversa spesso strati di diversa natura, o comunque con proprietà geotecniche variabili con la profondità, per cui la capacità portante in tal caso viene valutata per sommatoria dei contributi dei differenti strati.*

**Resistenza unitaria alla punta.** *La resistenza unitaria alla punta viene stimata con l'equazione:*

$$p = N_q \sigma_{vL} + N_c c$$

*in cui:*

$N_c$  e  $N_q$  i coefficienti di capacità portante

$\sigma_{vL}$  la tensione litostatica effettiva verticale che agisce alla punta del palo

$c$  la coesione

*Per il calcolo del coefficiente  $N_q$  si fa riferimento alla curva  $N_q(\phi)$  proposta da Berezantzev (1961) e ad un angolo di resistenza al taglio di progetto  $\phi$ , ridotto rispetto al valore  $\phi_{ind}$  relativo al deposito di*



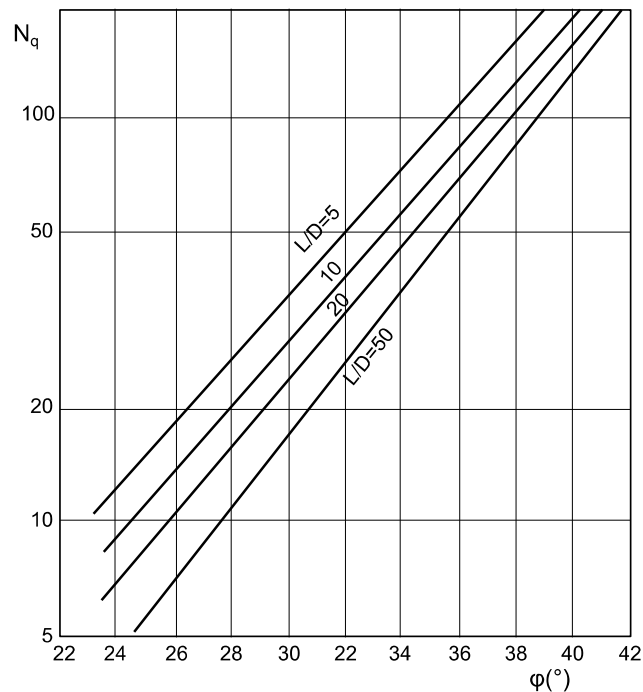
*terreno indisturbato, secondo le indicazioni di Kishida (1967):*

$$\varphi = \frac{\varphi_{ind} + 40^\circ}{2} \quad \text{per i pali battuti}$$

$$\varphi = \varphi_{ind} - 3^\circ \quad \text{per i pali trivellati}$$

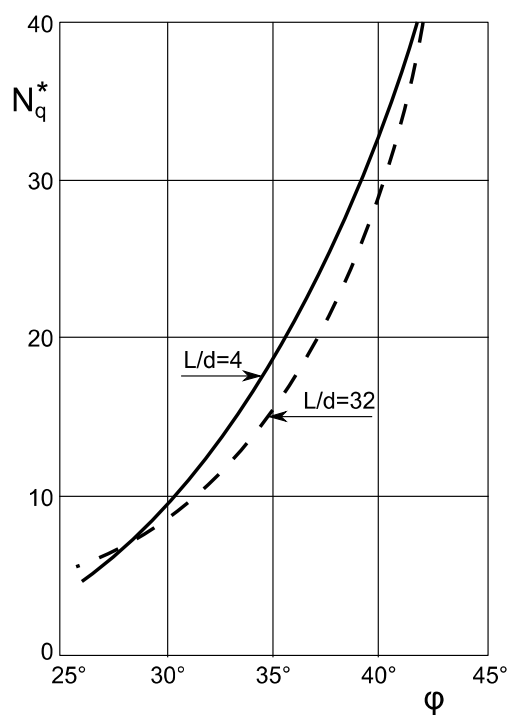
*Per il calcolo del coefficiente  $N_c$  si fa riferimento alla relazione di trasformazione:*

$$N_c = (N_q - 1) \operatorname{ctg} \varphi$$



Abaco di Berezantzev (1961)

Nel caso di pali trivellati di grande diametro è opportuno riferirsi alla condizione limite di esercizio, ovvero ad un valore del carico limite alla punta cui corrisponde un cedimento dell'ordine del 6% - 10% del diametro del palo utilizzando un valore  $N_q^*$  inferiore a  $N_q$  con riferimento all'abaco fornito dalle raccomandazioni AGI.



Abaco fornito dalle raccomandazioni AGI

In condizioni non drenate ( $c = c_u$ , e  $\phi = 0$ ) la resistenza unitaria alla punta viene stimata assumendo i

coefficienti di capacità portante  $N_q = 1$  e  $N_c = 9$ , sia per i pali di medio diametro che i pali trivellati di grande diametro.

**Resistenza unitaria laterale.** La resistenza laterale viene stimata con le equazioni:

$$s = a + k \sigma_{vz} \mu \quad \text{in condizioni drenate}$$

$$s = \alpha c_u \quad \text{in condizioni non drenate}$$

essendo:

$a$	l'adesione
$K$	il coefficiente di spinta
$\sigma_{vz}$	la tensione litostatica effettiva verticale che agisce alla profondità $z$
$\mu$	il coefficiente d'attrito fra palo e terreno
$\alpha$	il coefficiente di aderenza
$c_u$	la coesione non drenata

I coefficienti  $K$  e  $\alpha$  sono essenzialmente dipendenti dalla tecnica esecutiva del palo e dalle proprietà del terreno, mentre il coefficiente d'attrito  $\mu$  dipende dalla scabrezza dell'interfaccia palo-terreno ed ha come limite superiore il valore  $\tan \phi$ .

Per la scelta dei valori di  $k$  e  $\mu$  si fa riferimento alle indicazioni di riportate nella seguente tabella (Viggiani, 1999):

Tipo di palo	Valori di $K$ per stato di addensamento		Valori di $\mu$
	sciolto	denso	
Battuto: Calcestruzzo gettato in opera	1.0	3.0	$\tan \phi$
Trivellato	0.5	0.4	$\tan \phi$
Trivellato-pressato con elica continua	0.7	0.9	$\tan \phi$

Per la scelta dei valori di  $\alpha$  si fa, invece, riferimento alle indicazioni di riportate tabella che segue, dove  $c_u$  è espressa in kPa (Viggiani, 1999):

Tipo di palo	Valori di $c_u$ (in kPa)	Valori di $\alpha$
Battuto	$c_u \leq 25$	1.0
	$25 < c_u < 70$	$1 - 0.011 (c_u - 25)$
	$c_u \geq 70$	0.5
Trivellato	$c_u \leq 25$	0.7
	$25 < c_u < 70$	$0.7 - 0.008 (c_u - 25)$
	$c_u \geq 70$	0.35

Nel caso di pali trivellati di grande diametro, la resistenza laterale alla profondità  $z$  viene calcolata con l'espressione:

$$s = 0.7 \sigma_{vz} \tan \phi$$

essendo:

$\sigma_{vz}$	la tensione litostatica effettiva verticale che agisce alla profondità $z$
$\phi$	il valore dell'angolo d'attrito del terreno

In condizioni non drenate ( $c = c_u$  e  $\phi = 0$ ) la resistenza laterale per i pali trivellati di grande diametro viene stimata con gli stessi criteri dei pali di medio diametro.

**Effetto di gruppo.** Il carico limite del gruppo di  $N$  pali differisce, in generale, dalla sommatoria delle

della capacità portante dei singoli pali. Si pone:

$$Q_{lim, gruppo} = \eta_v \sum_N Q_{lim, i}$$

dove il fattore  $\eta_v$  è detto efficienza della palificata.

Nelle verifiche si tiene conto dell'effetto di gruppo della palificata moltiplicando il carico limite verticale del singolo palo ( $Q_{lim}$ ) per il fattore  $\eta_v$ .

Secondo le indicazioni riportate in Viggiani (1999), per palificate in terreni incoerenti, l'esperienza (Vesic, 1968) ha mostrato che l'efficienza risulta non minore dell'unità; nel progetto, si può assumere cautelativamente  $\eta_v = 1$ .

Per palificate in terreni coesivi, invece, l'efficienza risulta minore dell'unità e tipicamente 0.6 - 0.7. Per un gruppo costituito da  $m$  file di pali con  $n$  pali per ciascuna fila, si potrà adottare la formula empirica di Converse Labarre:

$$\eta_v = 1 - \frac{tg^{-1}(d/i)(m-1)n + (n-1)m}{\pi/2 \quad mn}$$

**Resistenza dei pali soggetti a carichi assiali.** Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  ( $R_{c,d}$  o  $R_{t,d}$ ) si ottiene dal valore caratteristico  $R_k$  ( $R_{c,k}$  o  $R_{t,k}$ ) applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nella Tab. 6.4.II, §6.4.3.1.1 - NTC. La resistenza caratteristica del palo singolo viene dedotta attraverso il metodo di calcolo analitico, dove  $R_k$  ( $R_{c,k}$  o  $R_{t,k}$ ) è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, applicando alle resistenze calcolate i fattori di correlazione  $x$  riportati nella Tab. 6.4.IV, §6.4.3.1.1 - NTC.

La verifica viene eseguita in conformità di quanto previsto dalle Norme Tecniche vigenti. La resistenza del palo viene verificata per tutti gli SLU utilizzando la seguente disequaglianza fondamentale ([6.2.1] §6.2.4.1-NTC):

$$E_d \leq R_d$$

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$R_d$  è il valore di progetto della resistenza del palo soggetto a carico assiale

Per maggiori dettagli sui valori numerici dell'efficienza  $\eta_v$  e dei fattori di correlazione  $\xi$  utilizzati nel presente calcolo, si rimanda alla sezione "Fondazione su pali". Per valori dei coefficienti parziali  $\gamma_R$ , si rimanda, invece, alla sezione "Scenari di calcolo".

Di seguito è riportata la sintesi dei risultati di verifica.

Dati di verifica

**Falda**

Falda assente

Verifica a carico limite verticale

Comb.	$\sigma_{v0}$ [Kg/cm <sup>2</sup> ]	$N_c$	$N_q$	$P_{lim}$ [Kg]	$S_{lim}$ [Kg]	$V_d$ [Kg]	$R_d$ [Kg]	$S_f$	Esito
GEO-(A1+M1+R3)	-0.90	17.17	6.43	44118.14	6890.16	14505.53	22747.97	1.57	Sodd.
SISMA_SLV	-0.90	17.17	6.43	44118.14	6890.16	11158.11	22747.97	2.04	Sodd.

### Simbologia

**Comb.:** Combinazione di carico

$\sigma_{v0}$ : Pressione litostatica effettiva in corrispondenza della testa del palo;

$N_c$ ,  $N_q$ : Coefficienti di capacità portante;

$P_{lim}$ : Resistenza alla punta (valore calcolato con procedura analitica);

$S_{lim}$ : Resistenza laterale (valore calcolato con procedura analitica);

$V_d$ : Azione verticale di progetto agente sui pali della paratia (comprensivo del peso proprio del palo, negativo se di trazione);

$R_d$ : Valore di progetto della resistenza a carico limite verticale (comprensivo dei fattori di correlazione e dei coefficienti parziali di sicurezza);

$S_f$ : Coefficiente di sicurezza.

Verifica del sollevamento del fondo scavo non eseguita

Verifica del sifonamento non eseguita

## VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

### Controllo degli Spostamenti

Di seguito è riportata la sintesi dei risultati di verifica.

Verifica cedimenti in fondazione e spostamenti in elevazione

$\delta_{olim}$ : 30.00 mm

$\delta_{lim}$ : 30.00 mm

Comb.	$\delta_0$ [mm]	$\delta_1$ [mm]	$S_{f_{min}}$	Esito
SISMA_SLD	-7.87	-2.94	3.81	Sodd.
Esercizio	-7.29	-2.70	4.12	Sodd.
Esercizio	-7.29	-2.70	4.12	Sodd.
Esercizio	-7.29	-2.70	4.12	Sodd.

### Simbologia

$\delta_{olim}$ : Valore limite dello spostamento in corrispondenza della quota testa paratia

$\delta_{lim}$ : Valore limite dello spostamento in corrispondenza della quota di fondo scavo

**Comb.:** Combinazione di carico

$\delta_0$ : Valore limite dello spostamento in corrispondenza della quota testa paratia

$\delta_1$ : Valore limite dello spostamento in corrispondenza della quota di fondo scavo

$S_{f_{min}}$ : Coefficiente di sicurezza minimo

Nota. Le azioni, i cedimenti e gli spostamenti sono positivi se concordi agli assi del riferimento globale.