

**SGC Grosseto Fano (E78).
Tratto Nodo di Arezzo (S. Zeno) - Selci Lama (E45).
Adeguamento a 4 corsie del tratto Le Ville - Selci Lama (E45).
Lotto 7.**

PROGETTO DEFINITIVO

PG 364

ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

<p>IL GEOLOGO <i>Dott. Geol. Salvatore Marino</i> Ordine dei geologi della Regione Lazio n. 1069</p>	<p>I PROGETTISTI SPECIALISTICI <i>Ing. Ambrogio Signorelli</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. A35111</p>	<p>PROGETTAZIONE ATI: (Mandataria) GP INGENGERIA <i>GESTIONE PROGETTI INGENGERIA srl</i></p>
<p>COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE <i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i> Ordine Architetti Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p> <i>Ing. Moreno Panfili</i> Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n. A2657</p>	<p>(Mandante) (Mandante)</p> 
<p>L'ARCHEOLOGO <i>Dott.ssa Maria Grazia Liseno</i> Elenco MIBACT n. 1646</p>	<p> <i>Ing. Claudio Muller</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 15754</p>	<p>(Mandante)</p>  
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO <i>Ing. Michele Consumini</i></p>	<p><i>Dott. Ing. Giovanni Suraci</i> Inscrizione all'Albo n. A2895 alla Sezione degli Ingegneri Settore civile - Ordine degli Ingegneri di RC n. A2895 ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI REGGIO CALABRIA</p>	<p>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</p>
<p>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO <i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i> Ordine Ingegneri Provincia di Roma n. 14035</p> 

OPERE D'ARTE MINORI

Opere di Sostegno

PARATIA OS05

Relazione Tecnica e di Calcolo

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	SCALA
COMP.	PROGETTO	LIV. ANNO N.PROG.	T00OS05STRRE01A			
DP	LO702G	D2110	CODICE ELAB. T00OS05STRRE01		A	-
D						
C						
B						
A	Emissione		Giugno '24	Suraci	Suraci	Guiducci
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1.	<u>DESCRIZIONE</u>	2
2.	<u>NORMATIVE DI RIFERIMENTO E RICHIAMI TEORICI</u>	2
1.1	NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
1.2	RICHIAMI TEORICI.....	3
3.	<u>DATI</u>	10

PROGETTAZIONE ATI:

1. DESCRIZIONE

La presente relazione riporta le verifiche della paratia OS.05 e costituita da pali Ø 1000, L=9 m, disposti con un interasse di 1,20 m.

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO E RICHIAMI TEORICI

1.1 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).

- Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018

1.2 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:

Kam diagramma della spinta attiva agente da monte
Kav diagramma della spinta attiva agente da valle sulla parte interrata
Kpm diagramma della spinta passiva agente da monte
Kpv diagramma della spinta passiva agente da valle sulla parte interrata.

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

$Dm = Kpm - Kav$ e $Dv = Kpv - Kam$

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 $\tan(f)$ e sulla coesione

Calcolo delle spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

PROGETTAZIONE ATI:

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 r 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 1/3 dell'altezza della parete stessa (diagramma triangolare con vertice in alto).

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.

PROGETTAZIONE ATI:

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_a l'adesione tirante-terreno, γ il peso di volume del terreno, D ed L_f 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

$$N = \pi D L_f (\gamma H K_s \tan \delta + c_a)$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

$$L_f = \frac{N}{\pi D (\gamma H K_s \tan \delta + c_a)}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta

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

$$L_f = \frac{N}{\pi d \tau_{c,0} \omega}$$

dove d è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, $\tau_{c,0}$ è la resistenza tangenziale limite della malta ed ω è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli ($\omega = 1 - 0.075 [n \text{ trefoli} - 1]$).

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.

Alla lunghezza efficace determinata prendendo il massimo valore di L_f si deve aggiungere la lunghezza di franco L che rappresenta la lunghezza del tratto che compreso fra la paratia e la superficie di ancoraggio.

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_0 al momento del tiro e lo sforzo N in esercizio

$$\beta = \frac{N_0}{N}$$

Analisi ad elementi finiti

PROGETTAZIONE ATI:

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_f l'area di armatura nel tirante ed E_s il modulo elastico dell'acciaio è inserito un elemento di lunghezza pari ad L , area A_f , inclinazione pari a quella del tirante e modulo elastico E_s . La parte interrata della paratia è suddivisa in elementi di lunghezza, come visto sopra, pari a circa 5 centimetri.

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

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) l'area equivalente della molla sarà $A_m=m*b$.

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

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

PROGETTAZIONE ATI:

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 riassembleta 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 riassembleggio 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.

Analisi per fasi di scavo

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

Definite le varie altezze di scavo (in funzione della posizione di tiranti, vincoli, o altro) si procede per ogni fase al calcolo delle spinte inserendo gli elementi (tiranti, vincoli o carichi) attivi per quella fase, tenendo conto delle deformazioni dello stato precedente. Ad esempio, se sono presenti dei tiranti passivi si inserirà nell'analisi della fase la 'molla' che lo rappresenta. Indicando con u ed u_0 gli spostamenti nella fase attuale e nella fase precedente, con s ed s_0 gli sforzi nella fase attuale e nella fase precedente e con K la matrice di rigidezza della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

$$s=s_0+K(u-u_0)$$

PROGETTAZIONE ATI:

In sostanza analizzare la paratia per fasi di scavo oppure 'direttamente' porta a risultati abbastanza diversi sia per quanto riguarda lo stato di deformazione e sollecitazione dell'opera sia per quanto riguarda il tiro dei tiranti.

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:

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

dove n è il numero delle strisce considerate, bi e ai sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia iesima rispetto all'orizzontale, Wi è il peso della striscia iesima e ci e fi sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre ui ed li rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia (li = bi/cosai).

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

Analisi dei pali

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

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

$$Q_t = Q_p + Q_l - W_p$$

dove:

- QT portanza totale del palo
- QP portanza di base del palo
- QL portanza per attrito laterale del palo
- WP peso proprio del palo

e le due componenti QP e QL sono calcolate in modo indipendente fra loro.

PROGETTAZIONE ATI:

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo QA applicando il coefficiente di sicurezza della portanza alla punta η_p ed il coefficiente di sicurezza della portanza per attrito laterale η_l .

Palo compresso:

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

Palo teso:

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

Capacità portante di punta

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

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

dove:

A_p è l'area portante efficace della punta del palo

c è la coesione

q è la pressione geostatica alla quota della punta del palo

g è il peso specifico del terreno

D è il diametro del palo

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

Capacità portante per resistenza laterale

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

$$Q_l = \int_S \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

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

dove:

c_a è l'adesione palo-terreno

δ è l'angolo di attrito palo-terreno

g è il peso specifico del terreno

z è la generica quota a partire dalla testa del palo

L è la lunghezza del palo

P è il perimetro del palo

K_s è il coefficiente di spinta che dipende dalle caratteristiche meccaniche e fisiche del terreno dal suo stato di addensamento e dalle modalità di realizzazione del palo.

PROGETTAZIONE ATI:

3. DATI

Tipo paratia: **Paratia di pali**

Altezza fuori terra	6.00	[m]
Profondità di infissione	4.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[m]
Lunghezza paratia	15.00	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	1.20	[m]
Diametro dei pali	100.00	[cm]
Numero totale di pali	11	
Numero di pali per metro lineare	0.73	

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 ³]

N°	Y [m]	Tipo	B [cm]	H [cm]	A [cmq]	W [cm ³]
1	0.00	Calcestruzzo	200.00	120.00	--	--
2	2.40	Acciaio	--	--	45.25	293.60

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

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

Profilo di monte

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
2	18.00	4.50	14.04

Profilo di valle

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-10.00	-6.00	0.00
2	0.00	-6.00	14.04

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
γ	peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ _{sat}	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 ²]
ca	adesione terreno/paratia espressa in [kg/cm ²]

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

Cesp	coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
τ ₁	tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kg/cm ²]

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

PROGETTAZIONE ATI:

N°	Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ²]	ca [kg/cm ²]	Cesp	τ_1 [kg/cm ²]	
2	Arenaria UG4 b	2400.0	2400.0	35.00	23.00	0.200	0.020	1.80	1.311	CAR
				32.00	21.00	0.100	0.010		1.311	MIN
				35.00	23.00	0.150	0.015		1.311	MED
4	UG1 a	1900.0	2100.0	36.00	24.00	0.000	0.000	1.45	0.000	CAR
				36.00	24.00	0.000	0.000		0.000	MIN
				36.00	24.00	0.000	0.000		0.000	MED
5	UG1 b	1800.0	2000.0	26.00	18.00	0.100	0.000	1.50	1.006	CAR
				26.00	18.00	0.100	0.000		1.006	MIN
				26.00	18.00	0.100	0.000		1.006	MED

Caratteristiche del terreno secondo il metodo di Bustamante-Doix per il calcolo dei tiranti

N°	Descrizione	Tipo terreno	Tipo iniezione	$\rho_{lim,CAR}$ [kg/cm ²]	$\rho_{lim,MIN}$ [kg/cm ²]	$\rho_{lim,MED}$ [kg/cm ²]
2	Arenaria UG4 b	Arenaria alterata o fratturata	IRS - Iniezione ripetuta e selettiva	0.0000	0.0000	0.0000
4	UG1 a	Sabbia limosa	IRS - Iniezione ripetuta e selettiva	0.0000	0.0000	0.0000
5	UG1 b	Limo	IRS - Iniezione ripetuta e selettiva	0.0000	0.0000	0.0000

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/cm²/cm]
 α inclinazione dello strato espressa in [°] (M: strato di monte, V: strato di valle)
 Terreno Terreno associato allo strato (M: strato di monte, V: strato di valle)

N°	sp [m]	α_M [°]	α_V [°]	K _{wM} [kg/cm ² /cm]	K _{wV} [kg/cm ² /cm]	Terreno M	Terreno V
1	13.00	0.00	0.00	2.96	2.96	UG1 a	UG1 a
2	13.00	0.00	0.00	5.56	5.56	UG1 b	UG1 b
3	9.00	0.00	0.00	14.08	14.08	Arenaria UG4 b	Arenaria UG4 b

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante passivo

Calcolo tiranti:	PROGETTO	
Diametro della perforazione	12.00	[cm]
Coeff. di espansione laterale	1.50	
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	250	[kg/cm ²]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	Precomp	
Tensione di snervamento f _{yk}	16000	[kg/cm ²]
Tiranti passivi armati con tondini		
Numero tondini:	1	
Diametro dei tondini:	12	[mm]
Metodo di calcolo dei tiranti:	BUSTAMANTE-DOIX	
Superficie di ancoraggio	Angolo di rottura	
Tensione limite resistenza malta	Tensione tangenziale aderenza acciaio-cla f _{bd} = 16.76	[kg/cm ²]

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]
 α 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 espressa in [m]
 Lf lunghezza di fondazione del tirante espressa in [m]

PROGETTAZIONE ATI:

T tiro iniziale espresso in [kg]

n°	Tipo	Y [m]	I [m]	f [m]	Alfa [°]	ALL	nr	Lt [m]	Lf [m]	T [kg]
1	Tirante passivo	2.40	1.20	0.20	30.00	Sfalsati	12	---	--	--

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

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

Descrizione	γ_{cls} [kg/mc]	Classe cls	Rck [kg/cm ²]	E [kg/cm ²]	Acciaio	n
Paratia	2500	C28/35	357	332300	B450C	15.00
Cordolo/Muro	2500	C28/35	357	332300	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls tesoro/compresso 1.00

Descrizione	$\gamma_{acciaio}$ [kg/cm ²]	E [kg/cm ²]
Paratia	7850	2100000

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	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.30	

Combinazione n° 2 - SLV - STR (A1-M1-R3)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 3 - SLU - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 4 - SLV - GEO (A2-M2-R1)

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 5 - SLE - Rara

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 6 - SLE - Frequente

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 7 - SLE - Quasi permanente

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

PROGETTAZIONE ATI:

Combinazione n° 8 - SLD

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Impostazioni di progetto

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

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

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

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

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

TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza

Laterale γ_{st} **R3** 1.20

Coefficienti di riduzione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica dei tiranti.

Numero di verticali indagate 2 $\xi_3=1.75$ $\xi_4=1.70$

Verifica materiali: Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

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

Verifica Taglio

Sezione in c.a.

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

$$V_{Red} = 0.9d b_w \alpha_v f_{cd} \frac{ctg\alpha + ctg\theta}{1 + ctg^2\theta}$$

PROGETTAZIONE ATI:

con:	
d	altezza utile sezione [mm]
b_w	larghezza minima sezione [mm]
A_{sw}	area armatura trasversale [mm ²]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
α_c	coefficiente maggiorativo, funzione di f_{cd} e σ_{cp}
σ_{cp}	tensione media di compressione [N/mm ²]
$\nu=0.5$	

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali	Ordinarie
Armatura ad aderenza migliorata	
<u>Verifica a fessurazione</u>	
Sensibilità delle armature	Poco sensibile
Valori limite delle aperture delle fessure	$w_1 = 0.20$ $w_2 = 0.30$ $w_3 = 0.40$
Metodo di calcolo aperture delle fessure	Circ.Min. 252 (15/10/96) o NTC 2008 - I° Formulazione
Calcolo momento fessurazione	Apertura
Resistenza a trazione per	Flessione
<u>Verifica delle tensioni</u>	
Combinazione di carico	Rara $\sigma_c < 0.60 f_{ck} - \sigma_f < 0.80 f_{yk}$ Quasi permanente $\sigma_c < 0.45 f_{ck} - \sigma_f < 1.00 f_{yk}$ Frequente $\sigma_c < 1.00 f_{ck} - \sigma_f < 1.00 f_{yk}$

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno:
Pressione passiva

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

Stabilità globale:
Metodo: Metodo di Fellenius
Maglia dei centri: Passo maglia **Automatica**
Resistenza a taglio paratia: **V_{rd}**

Impostazioni analisi sismica

Identificazione del sito

Latitudine	42.762860
Longitudine	11.112783
Comune	Grosseto
Provincia	Grosseto
Regione	Toscana
Punti di interpolazione del reticolo	24496 - 24497 - 24275 - 24274

Tipo di opera

Tipo di costruzione: Opera di importanza strategica
Vita nominale: 100 anni

PROGETTAZIONE ATI:

Classe d'uso IV - Opere strategiche ed industrie molto pericolose
Vita di riferimento 200 anni

Combinazioni/Fase	SLU	SLE
Accelerazione al suolo [m/s ²]	0.917	0.528
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F ₀	2.859	2.716
Valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione Tc* [sec]	0.304	0.269
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	E	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S _s)	1.600	1.600
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Per la determinazione del coeff. α è stato considerato un sottosuolo di tipo Definito manualmente		
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U _s [m]	0.035	0.035
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.660	0.660
Prodotto α β	0.660 > 0.2	0.660 > 0.2
Coefficiente di intensità sismica [%]	9.862	5.676
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.00	
Coefficiente di riduzione (β _s)	0.380	0.470
Coefficiente di intensità sismica nella verifica di stabilità [%]	5.682	4.045

Inerzia massa strutturale Considerata

Influenza sisma nella spinta attiva da monte

Forma diagramma incremento sismico: Triangolare con vertice in alto.

PROGETTAZIONE ATI:

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 120 elementi fuori terra e 80 elementi al di sotto della linea di fondo scavo.

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

Altezza fuori terra della paratia	6.00	[m]
Profondità di infissione	4.00	[m]
Altezza totale della paratia	10.00	[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 [kg]	Y _{Pa} [m]	Is [kg]	Y _{Is} [m]	Pw [kg]	Y _{Pw} [m]	Pp [kg]	Y _{Pp} [m]	Pc [kg]	Y _{Pc} [m]
1	SLU - STR	12099	4.14	--	--	--	--	-9938	7.53	4154	9.60
2	SLV - STR	10421	4.36	3331	4.00	--	--	-10401	7.67	4020	9.64
3	SLU - GEO	13122	4.25	--	--	--	--	-8153	8.00	2919	9.70
4	SLV - GEO	13703	4.47	3762	4.00	--	--	-9983	8.11	3084	9.73
5	SLE - Rara	9307	4.14	--	--	--	--	-7647	7.53	3197	9.60
6	SLE - Frequente	9307	4.14	--	--	--	--	-7647	7.53	3197	9.60
7	SLE - Quasi permanente	9307	4.14	--	--	--	--	-7647	7.53	3197	9.60
8	SLD	9948	4.26	1746	4.00	--	--	-9169	7.61	3665	9.62

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 [kg]	Y _{Rc} [m]	Rt [kg]	Y _{Rt} [m]	Rv [kg]	Y _{Rv} [m]	Rp [kg]	Y _{Rp} [m]
1	SLU - STR	0	0.00	6314	2.40	0	0.00	0	0.00
2	SLV - STR	0	0.00	7371	2.40	0	0.00	0	0.00
3	SLU - GEO	0	0.00	7888	2.40	0	0.00	0	0.00
4	SLV - GEO	0	0.00	10566	2.40	0	0.00	0	0.00
5	SLE - Rara	0	0.00	4856	2.40	0	0.00	0	0.00
6	SLE - Frequente	0	0.00	4856	2.40	0	0.00	0	0.00
7	SLE - Quasi permanente	0	0.00	4856	2.40	0	0.00	0	0.00
8	SLD	0	0.00	6189	2.40	0	0.00	0	0.00

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	P _{NUL} [m]	P _{INV} [m]	C _{ROT} [m]	MP [%]	R/R _{MAX} [%]
1	SLU - STR	6.42	7.35	8.80	34.57	6.86
2	SLV - STR	6.53	7.65	8.90	41.98	9.98
3	SLU - GEO	6.76	8.15	9.10	53.09	12.23
4	SLV - GEO	6.91	8.35	9.20	58.02	15.54
5	SLE - Rara	6.42	7.35	8.80	34.57	6.86
6	SLE - Frequente	6.42	7.35	8.80	34.57	6.86
7	SLE - Quasi permanente	6.42	7.35	8.80	34.57	6.86

PROGETTAZIONE ATI:

n°	Tipo	PNUL [m]	PINV [m]	CROT [m]	MP [%]	R/RMAX [%]
8	SLD	6.50	7.55	8.86	38.27	8.61

Verifiche geotecniche

Simbologia adottata

n°	Indice della Combinazione/Fase
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
P _{p,med} , P _{p,min}	Portanza di punta media e minima, espressa in [kg]
P _{L,med} , P _{L,min}	Portanza laterale media e minima, espressa in [kg]
P _d	Portanza di progetto, espressa in [kg]
N	Sforzo normale alla base del palo, espressa in [kg]
FS	Fattore di sicurezza (rapporto Pd/N)

n°	Tipo	P _{p,med} [kg]	P _{L,med} [kg]	P _{p,min} [kg]	P _{L,min} [kg]	P _d [kg]	N [kg]	FS
1	SLU - STR	312226	0	312226	0	136046	24606	5.529
2	SLV - STR	312226	0	312226	0	136046	25438	5.348

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 [kgm]	Y _M [m]	T [kg]	Y _T [m]	N [kg]	Y _N [m]	
1	SLU - STR	6640	7.60	5785	6.40	18044	10.00	MAX
		-3723	4.50	-4506	2.40	0	0.00	MIN
2	SLV - STR	6210	7.75	5884	6.50	18655	10.00	MAX
		-4542	4.65	-5225	2.40	0	0.00	MIN
3	SLU - GEO	3509	8.20	5234	6.75	18953	10.00	MAX
		-7038	4.95	-6025	2.40	0	0.00	MIN
4	SLV - GEO	3490	8.35	6458	6.90	20499	10.00	MAX
		-9626	5.05	-8003	2.40	0	0.00	MIN
5	SLE - Rara	5110	7.60	4450	6.40	17203	10.00	MAX
		-2863	4.50	-3465	2.40	0	0.00	MIN
6	SLE - Frequente	5110	7.60	4450	6.40	17203	10.00	MAX
		-2863	4.50	-3465	2.40	0	0.00	MIN
7	SLE - Quasi permanente	5110	7.60	4450	6.40	17203	10.00	MAX
		-2863	4.50	-3465	2.40	0	0.00	MIN
8	SLD	5779	7.70	5217	6.50	17972	10.00	MAX
		-3693	4.55	-4385	2.40	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 [cm]	Y _U [m]	V [cm]	Y _V [m]	
1	SLU - STR	1.7739	0.00	0.0052	0.00	MAX
		-0.2337	10.00	0.0000	0.00	MIN
2	SLV - STR	2.0591	0.00	0.0055	0.00	MAX
		-0.2480	10.00	0.0000	0.00	MIN
3	SLU - GEO	2.1716	0.00	0.0056	0.00	MAX
		-0.2191	10.00	0.0000	0.00	MIN
4	SLV - GEO	2.8948	0.00	0.0062	0.00	MAX
		-0.2597	10.00	0.0000	0.00	MIN
5	SLE - Rara	1.3651	0.00	0.0049	0.00	MAX
		-0.1798	10.00	0.0000	0.00	MIN
6	SLE - Frequente	1.3651	0.00	0.0049	0.00	MAX
		-0.1798	10.00	0.0000	0.00	MIN
7	SLE - Quasi permanente	1.3651	0.00	0.0049	0.00	MAX
		-0.1798	10.00	0.0000	0.00	MIN
8	SLD	1.7337	0.00	0.0052	0.00	MAX
		-0.2171	10.00	0.0000	0.00	MIN

PROGETTAZIONE ATI:

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 [cm]	U [cm]
1	SLU - STR	3.5000	1.7739
2	SLV - STR	3.5000	2.0591
3	SLU - GEO	3.5000	2.1716
4	SLV - GEO	3.5000	2.8948
5	SLE - Rara	3.5000	1.3651
6	SLE - Frequente	3.5000	1.3651
7	SLE - Quasi permanente	3.5000	1.3651
8	SLD	3.5000	1.7337

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 _{RIB}	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FS _{SCO}	Fattore di sicurezza a scorrimento

I punti di applicazione delle azioni sono riferiti alla testa della paratia.
La verifica a ribaltamento viene eseguita rispetto al centro di rotazione posto alla base del palo.

n°	Tipo	S [kg]	R [kg]	W [kg]	T [kg]	P [kg]	V [kg]	C [kg]	Mr [kgm]	Ms [kgm]	FS _{RIB}	FS _{SCO}
3	SLU - GEO	32990.28	48217.24	0.00	7887.52	0.00	0.00	0.00	107773.63	121039.48	1.123	1.701
4	SLV - GEO	35478.94	48217.24	0.00	10565.50	0.00	0.00	0.00	123223.97	141392.13	1.147	1.657
		6.73	8.73	0.00	2.40	0.00	0.00	0.00				

Stabilità globale

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione/fase
Tipo	Tipo della combinazione/fase
(X _c ; Y _c)	Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]
R	Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]
(X _v ; Y _v)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]
(X _m ; Y _m)	Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]
FS	Coefficiente di sicurezza
R	Coefficiente di sicurezza richiesto

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X _c , Y _c [m]	R [m]	X _v , Y _v [m]	X _m , Y _m [m]	FS	R
3	SLU - GEO	-2.00; 2.00	12.17	-11.18; -5.99	10.16; 1.51	1.640	1.100
4	SLV - GEO	-2.00; 2.00	12.17	-11.18; -5.99	10.16; 1.51	1.899	1.200
8	SLD	-2.00; 2.00	12.17	-11.18; -5.99	10.16; 1.51	1.891	1.200

Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

Simbologia adottata

N°	numero d'ordine della striscia
W	peso della striscia espresso in [kg]
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)

PROGETTAZIONE ATI:

ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
 c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cm²]
 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/cm²]
 Ctn, Ctt contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espressa in [kg]

Combinazione n° 3 - SLU - GEO

Numero di strisce 51

Caratteristiche delle strisce

N°	W _i [kg]	α [°]	L [m]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	u [kg/cm ²]	(Ctn; Ctt) [kg]
1	168.35	-47.51	0.61	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
2	507.11	-44.70	0.58	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
3	814.79	-42.02	0.56	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
4	1095.31	-39.44	0.54	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
5	1351.66	-36.96	0.52	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
6	1586.22	-34.56	0.50	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
7	1800.89	-32.22	0.49	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
8	1997.21	-29.94	0.48	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
9	2176.48	-27.72	0.47	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
10	2339.74	-25.54	0.46	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
11	2487.91	-23.39	0.45	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
12	2621.73	-21.29	0.44	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
13	2741.84	-19.21	0.44	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
14	2848.78	-17.16	0.43	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
15	2943.01	-15.13	0.43	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
16	3024.92	-13.11	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
17	3094.83	-11.12	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
18	3153.01	-9.14	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
19	3199.66	-7.17	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
20	3234.98	-5.21	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
21	3259.07	-3.25	0.41	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
22	3272.02	-1.30	0.41	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
23	3273.88	0.65	0.41	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
24	3264.66	2.60	0.41	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
25	3244.32	4.55	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
26	3212.79	6.51	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
27	3169.96	8.48	0.42	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
28	8050.86	10.48	0.43	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
29	8066.72	12.51	0.43	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
30	8069.85	14.56	0.44	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
31	8059.91	16.63	0.44	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
32	8036.51	18.72	0.45	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
33	7999.16	20.84	0.45	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
34	7947.29	22.99	0.46	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
35	7880.24	25.17	0.47	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
36	7797.18	27.40	0.48	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
37	7697.19	29.67	0.49	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
38	7579.12	31.99	0.50	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
39	7441.60	34.37	0.51	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
40	7282.96	36.82	0.53	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
41	7101.16	39.35	0.55	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
42	6893.64	41.98	0.57	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
43	6657.12	44.73	0.60	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
44	6387.34	47.61	0.63	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
45	6078.54	50.66	0.67	30.17	0.000	0.000	(6953; 1528)
46	5722.61	53.92	0.72	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
47	5307.51	57.47	0.79	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
48	4813.83	61.40	0.88	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
49	4206.03	65.93	1.04	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
50	3401.31	71.52	1.33	30.17	0.000	0.000	(0; 0)
51	1882.31	81.17	2.76	30.17	0.000	0.000	(0; 0)

Resistenza a taglio paratia = 0.00 [kg]

$\Sigma W_i = 226245.10$ [kg]

$\Sigma W_i \sin \alpha_i = 71551.06$ [kg]

$\Sigma W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i = 110773.42$ [kg]

$\Sigma c b_i / \cos \alpha_i = 0.00$ [kg]

Risultati tiranti

Simbologia adottata

N sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kg]
 A_r area di armatura in ogni tirante espressa in [cm²]
 L lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]

PROGETTAZIONE ATI:

Lf lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
 σ_f tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kg/cm²]
 u spostamento orizzontale del tirante della fila, positivo verso valle, espresso in [cm]
 R1, R2, R3 resistenza nei tre meccanismi considerati (sfilamento della fondazione, aderenza malta-armatura, resistenza malta) espressa in [kg]
 FS Fattore di sicurezza (rapporto min(R1, R2, R3)/N)

n°	N	Af	Lf	L	σ_f	u	R1	R2	R3	FS	cmb
	[kg]	[cm ²]	[m]	[m]	[kg/cm ²]	[cm]	[kg]	[kg]	[kg]		
1	15250	1.13	22.90	25.80	13483.95	2.16284	15275	144679	2170191	1.002	4

Verifica armatura paratia (Inviluppo sezioni critiche)

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della sezione
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
 Ar area di armatura del palo espressa in [cm²]
 M momento flettente agente sul palo espresso in [kgm]
 N sforzo normale agente sul palo espresso in [kg] (positivo di compressione)
 Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kgm]
 Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kg]
 Fs coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y	Af	M	N	Mu	Nu	FS
	[m]	[cm ²]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
4 - SLV - GEO	4.95	53.22	-13097	18037	-139078	191541	10.619

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della sezione
 Tipo Tipo della Combinazione/Fase
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
 Asw area dell'armatura trasversale, espressa in [cm²]
 s interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]
 Ved taglio agente sul palo, espresso in [kg]
 Vrd taglio resistente, espresso in [kg]
 FS coefficiente di sicurezza (rapporto tra Vrd/ Ved)
 cotg θ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 85.36 cm

n° - Tipo	Y	Asw	s	Ved	Vrd	FS	cotg θ
	[m]	[cm ²]	[cm]	[kg]	[kg]		
4 - SLV - GEO	2.40	2.26	17.00	-10913	96585	8.851	2.50

Verifica tensioni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della sezione
 Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]
 Af area di armatura espressa in [cm²]
 σ_c tensione nel calcestruzzo espressa in [kg/cm²]
 σ_f tensione nell'acciaio espressa in [kg/cm²]

Af	σ_c	cmb	σ_f	cmb
[cm ²]	[kg/cm ²]		[kg/cm ²]	
53.22	12.38	8	140.70	5

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

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

PROGETTAZIONE ATI:

Oggetto	n° - Tipo	Y [m]	M [kgm]	M _f [kgm]	S [mm]	ε _{sm} [%]	W _{im} [mm]	W _k [mm]
Paratia	8 - SLD	7.70	7880	41388	0.000	0.0000	0.300	0.000

Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M _h	momento flettente espresso in [kgm] nel piano orizzontale
T _h	taglio espresso in [kg] nel piano orizzontale
M _v	momento flettente espresso in [kgm] nel piano verticale
T _v	taglio espresso in [kg] nel piano verticale

Cordolo N° 1 (X=0.00 m) (Cordolo in c.a.)

B=200.00 [cm]	H=120.00 [cm]	Staffe φ12/7	Nbh=2 - Nbv=2
A _v =76.03 [cmq]	A _{th} =68.42 [cmq]	FS=45.78	
M _h =12575 [kgm]	M _{uh} =575606 [kgm]	FS _r =22.55	cotgθh=2.50
T _h =25149 [kg]	T _{rh} =567154 [kg]	FS=78.06	
M _v =4320 [kgm]	M _{uv} =337226 [kgm]	FS _{TV} =46.54	cotgθv=2.50
T _v =7200 [kg]	T _R =335070 [kg]		

Cordolo N° 2 (X=2.40 m) (Cordolo in acciaio)

A=45.25 [cmq]	W=293.60 [cm ³]	M _v =1098 [kgm]	T _v =3660 [kg]
M _h =1902 [kgm]	T _h =6339 [kg]	σ _{id} = 691.71 [kg/cmq]	
σ _f = 647.75 [kg/cmq]	τ _f = 140.10 [kg/cmq]		

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	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	STUDIO SURACI INGEGNERIA S.R.L.
Licenza	AIU6456Y8

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.

Luogo e data

Il progettista
()
