

REGIONE
TOSCANA

REGIONE TOSCANA

Progettazione e realizzazione Viabilità Regionale Arezzo, Siena e Grosseto

Regione Toscana - Giunta Regionale

Direzione Politiche mobilità, infrastrutture e trasporto pubblico locale
Settore Progettazione e realizzazione Viabilità Regionale
Arezzo, Siena e Grosseto

Direttore: Ing. Enrico Becattini

Provincia di Arezzo

Realizzazione della Variante Stradale alla S.R.T. 71 da Fontechiara
a variante di Bibbiena in loc. Corsalone nei Comuni di Chiusi della
Verna e Bibbiena (AR)

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Sandra Grani

PROGETTAZIONE STRADALE

Ing. Laura Cenni
Geom. Raffaella Landi
Ing. Renato Bacci

PROGETTAZIONE STRUTTURALE

Ing. Laura Cenni
Ing. Barbara Manganaro

PROGETTAZIONE IDRAULICA

Ing. Michela di Matteo

ASPETTI GEOLOGICI E GEOTECNICI

Geol. Mariangela Bisti

PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO

Geom. Leonardo Bindi
Geom. Daniele Del Santo

STUDIO DI IMPATTO ACUSTICO

Ing. Michela Di Matteo

RILIEVI TOPOGRAFICI

Geom. Alessio Mazzetti

ASPETTI AMBIENTALI

Nemo s.r.l. - Dott. Alberto Chiti Batelli

PROGETTO ILLUMINOTECNICO

Tetra Engineering s.r.l.

COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE

Geom. Enrico Pasquini
Geom. Daniele Paganucci
Geom. Daniele Del Santo
Arch. Letizia Betori

PROGETTO DEFINITIVO

CODICE:

OA

TAVOLA N°

03.05.01

SCALA :

.....

FORMATO:

.....

PARATIA TP02
Relazione di calcolo

DATA: DICEMBRE 2018

REV: 00

www.rete.toscana.it, www.regione.toscana.it
via A. Testa n. 2 52100 Arezzo, Tel. 055/4382625 (segreteria), Fax 0575/316241



Indice generale

1 GENERALITÀ.....	2
1.1 Unità di misura.....	2
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3 RICHIAMI TEORICI.....	4
3.1 Metodo di analisi.....	4
3.1.1 Calcolo della profondità di infissione.....	4
4 STRATIGRAFIA.....	12
5 MATERIALI UTILIZZATI.....	14
6 IMPOSTAZIONI ANALISI SISMICA.....	17
7 GEOMETRIA DELLA PARATIA CON FABBRICATO A MONTE.....	18
.7.1 CONDIZIONI DI CARICO.....	20
7.2 RISULTATI DELL'ANALISI.....	23
.7.2.1 Forze agenti sulla paratia.....	23
.7.2.2 Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia.....	24
.7.2.3 Spostamenti massimi e minimi della paratia.....	24
.7.2.4 Stabilità globale.....	25
.7.2.5 Risultati tiranti.....	26
.7.2.6 Verifica a flessione.....	26
.7.2.7 Verifica a taglio.....	26
8 GEOMETRIA DELLA PARATIA IN ASSENZA DEL FABBRICATO A MONTE.....	28
.8.1 Combinazioni di carico.....	30
.8.2 RISULTATI.....	33

1 GENERALITÀ

Argomento del presente elaborato sono i calcoli statici di dimensionamento della paratia di sostegno del terrapieno a monte della futura strada regionale, tra la progr. km 1+560 e la progr. Km 1+630 del Progetto Definitivo della variante stradale di categoria C2 alla SRT 71 nei Comuni di Chiusi della Verna e Bibbiena, Provincia di Arezzo.

L'opera è denominata TP02 e ha uno sviluppo complessivo di 70 ml.

Nel tratto iniziale (primi tre metri in proiezione), è presente un fabbricato a distanza circa 11,50 m a monte dell'asse della paratia.

Sono, quindi state dimensionate due paratie, una che risente della presenza del fabbricato e una senza il fabbricato.

La paratia in presenza del fabbricato e per uno sbalzo superiore a 4,80 ml è realizzata con pali $d=800$ mm passo 1,20 m con tirante in testa.

La paratia in assenza di fabbricato e per sbalzo minore o uguale a 4,80 ml è realizzata con pali $d=800$ mm passo 1,00 m.

Il dimensionamento è eseguito con l'ausilio del software PAC 14.00 distribuito dall'azienda Aztec Informatica.

1.1 Unità di misura

Nel progetto sono state adottate le seguenti unità di misura:

- per i carichi **kN, kN/m², kN/m³**
- per le azioni di calcolo **kN, kNm**
- per le tensioni **kN/cm², daN/cm², N/cm²**

2 NORMATIVA 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)

3 RICHIAMI TEORICI

3.1 Metodo di analisi

3.1.1 Calcolo della profondità di infissione

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

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

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

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

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

Nella costruzione dei diagrammi risultanti si adotterà la seguente notazione:

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

Calcolati i diagrammi suddetti si costruiscono i diagrammi risultanti

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

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

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

si può agire con tre modalità :

1. applicazione di un coefficiente moltiplicativo alla profondità di infissione strettamente necessaria per l'equilibrio

2. riduzione della spinta passiva tramite un coefficiente di sicurezza
3. riduzione delle caratteristiche del terreno tramite coefficienti di sicurezza su $\tan(f)$ e sulla coesione

3.1.2 Calcolo della spinte

Metodo di Culmann (metodo del cuneo di tentativo)

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

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

I passi del procedimento risolutivo sono i seguenti:

- si impone una superficie di rottura (angolo di inclinazione 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

$$\Delta S = S \cdot S_s$$

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.

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, **d** l'angolo d'attrito tirante-terreno, **ca** l'adesione tirante-terreno, **g** 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

$$N = p D L_f g H K_s \operatorname{tg} d + p D L_f c_a$$

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio **L_f**

$$L_f = \frac{N}{p D g H K_s \operatorname{tg} d + p D c_a}$$

K_s rappresenta il coefficiente di spinta che si assume pari al coefficiente di spinta a riposo

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

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

$$L_f = \frac{N}{p d t_{c0} w}$$

dove **d** è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, **t_{c0}** è la resistenza tangenziale limite della malta ed **w** è un coefficiente correttivo dipendente dal numero di trefoli (**w = 1 - 0.075 [n trefoli - 1]**).

Per quanto riguarda la verifica della terza condizione si impone che la tensione tangenziale limite tirante-terreno non possa superare la tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo **f_{1bd}**.

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.

La lunghezza totale del tirante sarà quindi data da

$$L_t = L_f + L$$

Nel caso di tiranti attivi, cioè tiranti soggetti ad uno stato di pretensione, bisogna considerare le cadute di tensione. A tale scopo è stato introdotto il coefficiente di caduta di tensione, **b**, che rappresenta il rapporto fra lo sforzo **N₀** al momento del tiro e lo sforzo **N** in esercizio

$$b = N_0 / N$$

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

$$A_m = 10000 \times \frac{k \cdot D_m}{E_m}$$

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

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

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

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riassemblata escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidezza è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassemblaggio 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 rigidità della 'struttura' la relazione sforzi-deformazione è esprimibile nella forma

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

Le modalità di analisi sono più complicate nel caso di tiranti attivi in quanto è importante conoscere la modalità di tiro: infatti il tirante può essere tesato prima dello scavo, oppure tesato alla fine della corrispondente fase di scavo, oppure al termine di tutto lo scavo. Nella fase in cui il tirante è tesato verrà inserita una molla con uno stato di pretensione pari allo sforzo di tesatura. Nelle fasi successive il tirante verrà considerato come una semplice molla che 'ricorda', naturalmente, lo sforzo della fase precedente.

Ovviamente si otterranno soluzioni differenti in funzione della modalità di tiro selezionata.

Nel caso di tiranti attivi, inoltre, è analizzata una fase ulteriore (a lungo termine) nella quale il tiro iniziale è depurato delle cadute di tensione.

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.

Si adotta per la verifica di stabilità globale il metodo di Bishop.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

$$h = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \tan \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da



$$m = \left(1 + \frac{\sum_{i=1}^n \frac{b_i \cdot \tan \alpha_i}{h}}{\sum_{i=1}^n W_i}\right) \cos \alpha_i$$

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

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine m che è funzione di h . Quindi essa è risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per h da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

4 STRATIGRAFIA

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine
Descrizione	Descrizione del terreno
g	peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
g _{sat}	peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
f	angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
d	angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c	coesione del terreno espressa in [kPa]

N°	Descrizione	g	g _{sat}	f	d	c
		[kN/mc]	[kN/mc]	[°]	[°]	[kPa]
1	2-argilla limosa deb. sabbiosa	20,000	22,000	25.00	16.70	15,0
2	1-argilla limosa	17,000	19,000	16.00	10.67	5,0
3	3-calcarei marnosi	24,000	24,000	25.00	16.67	150,0
4	4-calculutiti	24,000	24,000	27.00	18.00	200,0

Parametri per il calcolo dei tiranti

Simbologia adottata

f _{min}	angolo d'attrito minimo interno del terreno espresso in [°]
d _{min}	angolo d'attrito minimo terreno/paratia espresso in [°]
c _{min}	coesione minima del terreno espressa in [kPa]
f _{med}	angolo d'attrito medio interno del terreno espresso in [°]
d _{med}	angolo d'attrito medio terreno/paratia espresso in [°]
c _{med}	coesione media del terreno espressa in [kPa]

N°	Descrizione	f _{min}	f _{med}	d _{min}	d _{med}	c _{min}	c _{med}
		[°]	[°]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]
1	2-argilla limosa deb. sabbiosa	25.00	25.00	16.70	16.70	15,0	15,0
2	1-argilla limosa	16.00	16.00	10.67	10.67	5,0	5,0
3	3-calcarei marnosi	25.00	25.00	16.67	16.67	150,0	150,0
4	4-calculutiti	27.00	27.00	18.00	18.00	200,0	200,0

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

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

N°	sp	a M	a V	KwM	KwV	Terreno M	Terreno V
	[m]	[°]	[°]	[kg/cm ² /cm]	[kg/cm ² /cm]		
1	6,10	3.00	3.00	0.56	0.56	1-argilla limosa	1-argilla limosa
2	4,70	3.00	3.00	2.56	2.56	2-argilla limosa deb. sabbiosa	2-argilla limosa deb. sabbiosa



Direzione Politiche Mobilità Infrastrutture e Trasporto Pubblico Locale
SETTORE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE VIABILITÀ AREZZO, SIENA E GROSSETO

SRT71-VARIANTE DEL CORSALONE

PROGETTO DEFINITIVO

N°	sp	a M	a V	KwM	KwV	Terreno M	Terreno V
	[m]	[°]	[°]	[kg/cmq/cm]	[kg/cmq/cm]		
3	6,50	3.00	3.00	8.36	8.36	3-calcarei marnosi	3-calcarei marnosi
4	10,00	3.00	0.00	13.47	13.47	4-calcolutiti	4-calcolutiti

5 MATERIALI UTILIZZATI

Simbologia adottata

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

Descrizione	g _{cls}	Classe cls	R _{ck}	E	Acciaio	n
	[kN/mc]		[kPa]	[kPa]		
Paratia	24,52	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00
Cordolo/Muro	24,52	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

Descrizione	g _{acciaio}	E
	[kN/mc]	[kPa]
Paratia	76,98	205942924

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 1 - Tirante attivo (trefoli)

Calcolo tiranti: VERIFICA

Diametro della perforazione 14,00 [cm]

Coeff. di espansione laterale 1.80

Malta utilizzata per i tiranti

Classe di Resistenza C25/30

Resistenza caratteristica a compressione R_{ck} 30000 [kPa]

Acciaio utilizzato per i tiranti

Tipo Precomp



Tensione di snervamento f_{yk} 1569089 [kPa]

Tiranti attivi armati con trefoli

Area del singolo trefolo: 0,93 [cmq]

Numero di trefoli del tirante: 4

Coefficiente cadute di tensione: 1.30

Coeff. correttivo w : SI

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

- Aliquota angolo di attrito 100.00 [%]

- Aliquota coesione 70.00 [%]

Coefficiente di spinta Spinta a riposo

Tensione limite resistenza malta Tensione tangenziale aderenza acciaio-cls f_{bd}

Descrizione tiranti di ancoraggio

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Y	I	f	Alfa	ALL	nr	Lt	Lf	T
		[m]	[m]	[m]	[°]			[m]	[m]	[kN]
1	Tirante attivo (trefoli)	0,33	2,40	0,20	30.00	Sfalsati	42	22,00	8,00	150,0000



6 IMPOSTAZIONI ANALISI SISMICA

Identificazione del sito

Latitudine	43.678721
Longitudine	11.827568
Comune	Chiusi Della Verna



Provincia Arezzo
Regione Toscana

Punti di interpolazione del reticolo 20511 - 20289 - 20288 - 20510

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria
Vita nominale 50 anni
Classe d'uso III - Affollamenti significativi e industrie non pericolose
Vita di riferimento 75 anni

Combinazioni/Fase	SLU	SLE
Accelerazione al suolo $[m/s^2]$	2.019	0.870
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.383	2.443
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante T_c^*	0.299	0.279
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.000	1.000
Tipo di sottosuolo	E	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.461	1.600
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (a)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.039	0.039
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (b)	0.645	0.645
Prodotto $a \cdot b$	0.645 > 0.2	
Coefficiente di intensità sismica (per cento)	19.391	9.154
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (k_v)	0.00	
Influenza sisma nella spinta attiva da monte		
Forma diagramma incremento sismico : Triangolare con vertice in alto.		

7 GEOMETRIA DELLA PARATIA CON FABBRICATO A MONTE



Tipo paratia: **Paratia di pali**

Altezza fuori terra	4,90	[m]
Profondità di infissione	5,30	[m]
Altezza totale della paratia	10,20	[m]
Lunghezza paratia	100,00	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	1,20	[m]
Diametro dei pali	80,00	[cm]
Numero totale di pali	83	
Numero di pali per metro lineare	0.83	

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]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm^3]
1	0,00	Calcestruzzo	120,00	65,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

N numero ordine del punto

X ascissa del punto espressa in [m]

Y ordinata del punto espressa in [m]

A inclinazione del tratto espressa in [°]

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	4,00	0,00	0.00
3	10,00	1,00	9.46
4	30,00	1,00	0.00

Profilo di valle - Fase n° 1

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-1,00	--
2	0,00	-1,00	0.00

Profilo di valle - Fase n° 4

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-4,90	--
2	0,00	-4,90	0.00

.7.1 CONDIZIONI DI CARICO

Simbologia e convenzioni adottate

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

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



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

Condizione n° 1 - Permanente non strutturale - Condizione 1 – peso proprio del fabbricato (edificio di civile abitazione con piano garage, piano terra e mansarda)

Carico distribuito sul profilo	X _i = 11,50	X _f = 22,50	Q _i = 18,30	Q _f = 18,30	
--------------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------	--

Condizione n° 2 - Variabile - Condizione 2 (I_g=0) [Y₀=0.70 - Y₁=0.50 - Y₂=0.30] – accidentali su fabbricato

Carico distribuito sul profilo	X _i = 11,50	X _f = 22,50	Q _i = 4,00	Q _f = 4,00	
--------------------------------	------------------------	------------------------	-----------------------	-----------------------	--

Fasi di scavo

Simbologia adottata

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

n°	Fase	Tempo
1	Scavo fino alla profondità di 1.00 metri	0
2	Inserimento condizione di carico nr 1 [Hscavo=1.00]	0
3	Inserimento tirante 1 (X=0.33) [Hscavo=1.00]	1
4	Tesatura tirante 1 N=15296 [Hscavo=1.00]	2
5	Scavo fino alla profondità di 4.90 metri	3
6	Inserimento condizione di carico nr 2 [Hscavo=4.90]	3
7	Inserimento sisma	4

Impostazioni di progetto

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	g _{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	g _{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti ns	Favorevole	g_{Gfav}	0.80	0.80	0.00	0.00
Permanenti ns	Sfavorevole	g_{Gsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	g_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	g_{Qsfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	g_{Qfav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	g_{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	$g_{anf'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	g_c'	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	g_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	g_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	g_g	1.00	1.00	1.00	1.00

TIRANTI DI ANCORAGGIO

Coefficienti parziali g_R per le verifiche dei tiranti

Resistenza

R3

Laterale g_{st} 1,20

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

Numero di verticali indagate 1 $x_3=1,80$ $x_4=1,80$

Verifica materiali : Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

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



Verifica Taglio

Sezione in c.a.

$$VR_{sd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctga} + \text{ctgq}) \cdot \sin \alpha$$

$$VR_{cd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot f_{cd}' \cdot (\text{ctg}(q) + \text{ctg}(a)) / (1.0 + \text{ctg}^2 q)$$

con:

d	altezza utile sezione [mm]
b _w	larghezza minima sezione [mm]
A _{sw}	area armatura trasversale [mmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]
a _c	coefficiente maggiorativo, funzione di f _{cd} e s _{cp}
s _{cp}	tensione media di compressione [N/mm ²]
f _{cd} '	$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$

Impostazioni di analisi

Analisi per Fasi di Scavo.

Rottura del terreno: Pressione passiva Applicata diminuzione quota valle secondo NTC2018 - par 6.5.2.2

Impostazioni analisi per fasi di scavo:

Analisi per coefficienti tipo A1-M1

Analisi per coefficienti tipo A2-M2

Influenza d (angolo di attrito terreno-paratia): Sia nel calcolo dei coefficienti di spinta K_a e K_p che nelle inclinazioni della spinta attiva e passiva

Stabilità globale: Metodo di Bishop

7.2 RISULTATI DELL'ANALISI

.7.2.1 Forze agenti sulla paratia

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

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Pa	YPa	Is	YIs	Pw	YPw	Pp	YPp	Pc	YPc
		[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]
1	SLU - STR	0,75	0,85	--	--	--	--	-1,07	3,40	0,32	9,33
2	SLU - STR	0,75	0,85	--	--	--	--	-1,07	3,40	0,32	9,33
3	SLU - STR	21,00	0,51	--	--	--	--	-16,42	9,26	49,98	3,18
4	SLU - STR	116,00	3,60	--	--	--	--	-59,07	7,22	3,67	7,67
5	SLV - STR	96,81	4,36	85,01	3,27	--	--	-132,63	6,99	26,56	9,47
1	SLU - GEO	0,69	0,85	--	--	--	--	-0,98	3,40	0,30	9,33
2	SLU - GEO	0,69	0,85	--	--	--	--	-0,98	3,40	0,30	9,33
3	SLU - GEO	20,09	0,53	--	--	--	--	-16,89	9,26	51,36	3,18
4	SLU - GEO	114,24	3,71	--	--	--	--	-56,95	7,36	2,36	6,30
5	SLV - GEO	127,35	5,08	168,89	3,27	--	--	-254,33	7,36	73,31	9,68

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	Rc	YRc	Rt	YRt	Rv	YRv	Rp	YRp
		[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]
1	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - STR	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - STR	0,00	0,00	54,56	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLU - STR	0,00	0,00	60,58	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
5	SLV - STR	0,00	0,00	75,73	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
1	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLU - GEO	0,00	0,00	54,56	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLU - GEO	0,00	0,00	59,63	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
5	SLV - GEO	0,00	0,00	115,18	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00

.7.2.2 Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	SLU - STR	1,16	4,15	0,75	0,97	104,33	10,20	MAX
		0,00	0,62	-0,32	7,60	0,00	0,00	MIN
2	SLU - STR	1,16	4,15	0,75	1,02	104,33	10,20	MAX
		0,00	0,00	-0,32	7,60	0,00	0,00	MIN
3	SLU - STR	0,98	0,33	16,42	7,45	135,83	10,20	MAX
		-65,52	3,66	-47,93	0,33	0,00	0,00	MIN
4	SLU - STR	1,64	8,95	57,14	5,70	139,31	10,20	MAX
		-144,81	3,86	-59,80	0,33	0,00	0,00	MIN
5	SLV - STR	48,81	7,55	98,78	5,65	148,05	10,20	MAX
		-162,13	3,61	-74,80	0,33	0,00	0,00	MIN
1	SLU - GEO	1,06	4,15	0,69	0,97	104,33	10,20	MAX
		0,00	0,62	-0,30	7,60	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	1,06	4,15	0,69	1,02	104,33	10,20	MAX
		0,00	0,00	-0,30	7,60	0,00	0,00	MIN
3	SLU - GEO	0,74	0,33	16,89	7,45	135,83	10,20	MAX
		-67,47	3,66	-49,13	0,33	0,00	0,00	MIN
4	SLU - GEO	0,28	9,45	56,38	6,05	138,76	10,20	MAX
		-142,08	4,00	-58,95	0,33	0,00	0,00	MIN
5	SLV - GEO	121,40	7,75	174,68	6,10	170,83	10,20	MAX
		-251,77	3,71	-114,07	0,33	0,00	0,00	MIN

.7.2.3 Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

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

n°	Tipo	U	Y _U	V	Y _V	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
1	SLU - STR	0,0083	0,00	0,0039	0,00	MAX
		-0,0010	10,20	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - STR	0,0083	0,00	0,0039	0,00	MAX
		-0,0010	10,20	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - STR	0,0455	10,20	0,0062	0,00	MAX
		-0,4174	0,00	0,0000	0,00	MIN

n°	Tipo	U	YU	V	YV	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
4	SLU - STR	0,1556	4,50	0,0065	0,00	MAX
		-0,0647	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	SLV - STR	0,8481	0,00	0,0071	0,00	MAX
		-0,1542	10,20	0,0000	0,00	MIN
1	SLU - GEO	0,0076	0,00	0,0039	0,00	MAX
		-0,0009	10,20	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	0,0076	0,00	0,0039	0,00	MAX
		-0,0009	10,20	0,0000	0,00	MIN
3	SLU - GEO	0,0468	10,20	0,0062	0,00	MAX
		-0,4294	0,00	0,0000	0,00	MIN
4	SLU - GEO	0,1297	4,90	0,0064	0,00	MAX
		-0,1337	0,00	0,0000	0,00	MIN
5	SLV - GEO	3,1994	0,00	0,0087	0,00	MAX
		-0,4676	10,20	0,0000	0,00	MIN

7.2.4 Stabilità globale

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

(XC; YC) Coordinate centro cerchio superficie di scorrimento, espresse in [m]

R Raggio cerchio superficie di scorrimento, espresso in [m]

(XV; YV) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a valle, espresse in [m]

(XM; YM) Coordinate intersezione del cerchio con il pendio a monte, espresse in [m]

FS Coefficiente di sicurezza

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	XC, YC	R	XV, YV	XM, YM	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
1	SLU - GEO	0,00; 9,18	19,38	-16,50; -0,99	17,58; 1,00	6.013
2	SLU - GEO	0,00; 9,18	19,38	-16,50; -0,99	17,58; 1,00	6.013
3	SLU - GEO	0,00; 9,18	19,38	-16,50; -0,99	17,58; 1,00	6.435
4	SLU - GEO	0,00; 8,16	18,36	-12,91; -4,89	16,92; 1,00	2.281
5	SLV - GEO	-1,02; 9,18	19,41	-14,39; -4,89	16,59; 1,00	2.159

7.2.5 Risultati tiranti

Simbologia adottata

N sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN]

Af area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]

L lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]

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

s f tensione di trazione nell'acciaio del tirante espressa in [kPa]

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 [kN]

FS Fattore di sicurezza (rapporto $\min(R1, R2, R3)/N$)

n°	N	Af	Lf	L	s f	u	R1	R2	R3	FS	cmb
	[kN]	[cmq]	[m]	[m]	[kPa]	[cm]	[kN]	[kN]	[kN]		
1	316,66	3,72	8,00	22,00	851240	3,11741	339,50	1573,00	11448,71	1.072	10

.7.2.6 Verifica a flessione

Simbologia adottata

n° numero d'ordine della sezione

Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]

Af area di armatura del palo espressa in [cmq]

M momento flettente agente sul palo espresso in [kNm]

N sforzo normale agente sul palo espresso in [kN] (positivo di compressione)

Mu momento ultimo di riferimento espresso in [kNm]

Nu sforzo normale ultimo di riferimento espresso in [kN]

FS coefficiente di sicurezza (rapporto fra la sollecitazione ultima e la sollecitazione di esercizio)

n° - Tipo	Y	Af	M	N	Mu	Nu	FS
	[m]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
5 - SLV - GEO	3,66	38,01	-303,25	125,18	-480,84	125,18	1.586

.7.2.7 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 [cmq]

s interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]

VEd taglio agente sul palo, espresso in [kN]

VRd taglio resistente, espresso in [kN]

FS coefficiente di sicurezza (rapporto tra VRd/ VEd)

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato B = 68,28 cm

n° - Tipo	Y	Asw	s	VEd	VRd	FS
	[m]	[cmq]	[cm]	[kN]	[kN]	
5 - SLV - GEO	6,10	2,26	22,00	210,46	572,86	2.722



8 GEOMETRIA DELLA PARATIA IN ASSENZA DEL FABBRICATO A MONTE

Tipo paratia: **Paratia di pali**

Altezza fuori terra	4,80	[m]
Profondità di infissione	10,00	[m]
Altezza totale della paratia	14,80	[m]



Lunghezza paratia	100,00	[m]
Numero di file di pali	1	
Interasse fra i pali della fila	1,00	[m]
Diametro dei pali	80,00	[cm]
Numero totale di pali	99	
Numero di pali per metro lineare	0.99	

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]

N°	Y	Tipo	B	H	A	W
	[m]		[cm]	[cm]	[cmq]	[cm^3]
1	0,00	Calcestruzzo	120,00	65,00	--	--

Geometria profilo terreno

Simbologia adottata e sistema di riferimento

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

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

Profilo di monte

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
2	10,00	0,00	0.00
3	12,00	1,00	26.57
4	30,00	1,00	0.00

Profilo di valle

N°	X	Y	A
	[m]	[m]	[°]
1	-10,00	-4,80	0.00
2	0,00	-4,80	0.00

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

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

Descrizione	g _{cls}	Classe cls	R _{ck}	E	Acciaio	n
	[kN/mc]		[kPa]	[kPa]		
Paratia	24,52	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00
Cordolo/Muro	24,52	C28/35	35000	32587986	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls teso/compresso 1.00

Descrizione	g _{acciaio}	E
	[kN/mc]	[kPa]
Paratia	76,98	205942924

.8.1 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	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.30	

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

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

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

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 4 - SLE - Rara

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 5 - SLE - Frequente

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 6 - SLE - Quasi permanente

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Combinazione n° 7 - SLD

Condizione	Fav/Sfav	g	Y
Spinta terreno	SFAV	1.00	

Impostazioni di progetto

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti	Favorevole	g _{Gfav}	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	g _{Gsfav}	1.30	1.00	1.00	1.00
Permanenti ns	Favorevole	g _{Gfav}	0.80	0.80	0.00	0.00

Carichi	Effetto		Statici		Sismici	
			A1	A2	A1	A2
Permanenti ns	Sfavorevole	g_{sfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	g_{fav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	g_{sfav}	1.50	1.30	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevole	g_{fav}	0.00	0.00	0.00	0.00
Variabili da traffico	Sfavorevole	g_{sfav}	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	$g_{anf'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	g_c'	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	g_{cu}	1.00	1.40	1.00	1.00
Resistenza a compressione uniaassiale	g_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	g_g	1.00	1.00	1.00	1.00

Verifica materiali : Stato Limite

Impostazioni verifiche SLU

Coefficienti parziali per resistenze di calcolo dei materiali

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

Verifica Taglio

Sezione in c.a.

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot A_{sw} / s \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot a_c \cdot f_{cd} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha)) / (1.0 + \cot^2 \theta)$$

con:

d altezza utile sezione [mm]

b_w larghezza minima sezione [mm]

A_{sw} area armatura trasversale [mmq]

s interasse tra due armature trasversali consecutive [mm]



a_c coefficiente maggiorativo, funzione di f_{cd} e s_{cp}

s_{cp} tensione media di compressione [N/mm²]

$f_{cd}' = 0.5 \cdot f_{cd}$

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Ordinarie

Armatura ad aderenza migliorata

Sensibilità delle armature Poco sensibile

Valori limite delle aperture delle fessure $w_1 = 0.20$

$w_2 = 0.30$

$w_3 = 0.40$

Metodo di calcolo aperture delle fessure NTC 2008-2018 - I° Formulazione

Verifica delle tensioni

Combinazione di carico Rara $s_c < 0.60 f_{ck}$ - $s_f < 0.80 f_{yk}$

Quasi permanente $s_c < 0.45 f_{ck}$

Impostazioni di analisi

Analisi per Combinazioni di Carico.

Rottura del terreno: Pressione passiva Applicata diminuzione quota valle secondo NTC2018 - par 6.5.2.2

Influenza δ (angolo di attrito terreno-paratia): Sia nel calcolo dei coefficienti di spinta K_a e K_p che nelle inclinazioni della spinta attiva e passiva

Stabilità globale: Metodo di Bishop

.8.2 RISULTATI

Valori massimi e minimi sollecitazioni per metro di paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa espressa in [m]

M momento flettente massimo e minimo espresso in [kNm]

N sforzo normale massimo e minimo espresso in [kN] (positivo di compressione)

T taglio massimo e minimo espresso in [kN]

n°	Tipo	M	Y _M	T	Y _T	N	Y _N	
		[kNm]	[m]	[kN]	[m]	[kN]	[m]	
1	SLU - STR	327,98	7,25	108,92	5,55	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,60	-72,29	10,15	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	309,63	7,35	104,30	6,05	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,60	-68,72	10,30	0,00	0,00	MIN
3	SLV - GEO	562,71	7,70	175,97	6,05	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,00	-126,19	10,60	0,00	0,00	MIN
4	SLE - Rara	218,38	7,20	73,64	5,35	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,80	-48,04	10,10	0,00	0,00	MIN
5	SLE - Frequente	218,38	7,20	73,64	5,35	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,80	-48,04	10,10	0,00	0,00	MIN
6	SLE - Quasi permanente	218,38	7,20	73,64	5,35	180,57	14,80	MAX
		0,00	0,80	-48,04	10,10	0,00	0,00	MIN
7	SLD	295,09	7,25	97,22	5,45	180,57	14,80	MAX
		0,00	14,80	-64,59	10,05	0,00	0,00	MIN

Spostamenti massimi e minimi della paratia

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione/fase

Tipo Tipo della combinazione/fase

Y ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]

U spostamento orizzontale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso valle

V spostamento verticale massimo e minimo espresso in [cm] positivo verso il basso

n°	Tipo	U	Y _U	V	Y _V	
		[cm]	[m]	[cm]	[m]	
1	SLU - STR	2,0624	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0264	12,15	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	1,9792	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0249	12,30	0,0000	0,00	MIN
3	SLV - GEO	3,8626	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0435	12,95	0,0000	0,00	MIN
4	SLE - Rara	1,3641	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0176	12,10	0,0000	0,00	MIN
5	SLE - Frequente	1,3641	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0176	12,10	0,0000	0,00	MIN
6	SLE - Quasi permanente	1,3641	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0176	12,10	0,0000	0,00	MIN
7	SLD	1,8628	0,00	0,0082	0,00	MAX
		-0,0220	12,15	0,0000	0,00	MIN

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

Numero di cerchi analizzati 100

n°	Tipo	X _C , Y _C	R	X _V , Y _V	X _M , Y _M	FS
		[m]	[m]	[m]	[m]	
2	SLU - GEO	0,00; 13,32	21,45	-11,50; -4,79	17,57; 1,00	4.326
3	SLV - GEO	0,00; 13,32	21,45	-11,50; -4,79	17,57; 1,00	3.410

Verifica a flessione

Simbologia adottata

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

n° - Tipo	Y	A _f	M	N	M _U	N _U	FS
	[m]	[cmq]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	
3 - SLV - GEO	7,70	50,27	568,39	94,89	624,81	94,89	1.099

Verifica a taglio

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Tipo	Tipo della Combinazione/Fase
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa, espressa in [m]
A _{SW}	area dell'armatura trasversale, espressa in [cmq]
s	interasse tra due armature trasversali consecutive, espressa in [cm]

V_{Ed} taglio agente sul palo, espresso in [kN]
 V_{Rd} taglio resistente, espresso in [kN]
 FS coefficiente di sicurezza (rapporto tra V_{Rd}/V_{Ed})

La verifica a taglio del palo è stata eseguita considerando una sezione quadrata equivalente di lato $B = 68,28$ cm

n° - Tipo	Y	A_{sw}	s	V_{Ed}	V_{Rd}	FS
	[m]	[cmq]	[cm]	[kN]	[kN]	
3 - SLV - GEO	6,05	2,26	22,00	177,75	590,97	3.325

Verifica tensioni

Simbologia adottata

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

A_f	s_c	cmb	s_f	cmb
[cmq]	[kPa]		[kPa]	
50,27	8606	7	256934	7

Verifica fessurazione

Simbologia adottata

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



Direzione Politiche Mobilità Infrastrutture e Trasporto Pubblico Locale
SETTORE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE VIABILITÀ AREZZO, SIENA E GROSSETO

SRT71-VARIANTE DEL CORSALONE

PROGETTO DEFINITIVO

Oggetto	n° - Tipo	Y	M	M _f	s	e _{sm}	w _{lim}	w _k
		[m]	[kNm]	[kNm]	[mm]	[%]	[mm]	[mm]
Paratia	7 - SLD	7,20	298,07	145,57	177,628	0.1074	0,300	0,294