



PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO
DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI
SERVIZIO GESTIONE STRADE
UFFICIO GESTIONE PER LA ZONA CENTRO

PROGETTO :

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA SP 211 DEI MONTI LESSINI KM 9+135 CIRCA.

FASE PROGETTO :

PERIZIA ESECUTIVA

CATEGORIA :

322 - STRUTTURE - OPERE DI CONSOLIDAMENTO

TITOLO TAVOLA :

RELAZIONE DI CALCOLO

SCALA :

FASE PROGETTO :

E

TIPO ELAB. :

R

CATEGORIA :

110

PARTE D'OPERA :

N° PROGR.

20

REVISIONE :

NOME FILE :

NUMERO PAT:

DATA REDAZIONE : LUGLIO 2025

PROGETTAZIONE GENERALE

Ing. Italo Artico

CALCOLO STATICO

Ing. Stefano Filippi

Visto ! IL DIRETTORE DELL'UFFICIO :

Ing. Italo Artico

Visto ! IL DIRIGENTE:

Ing. Sergio Deromedis

REFERENTI P.A.T. PER LA PROGETTAZIONE:

geom. Romeo Carpentari

geom. Michele Mazzucchi

GEOLOGO:

Dott. Geol. Giuliano Lorenzetti





PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO
DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E TRASPORTO
SERVIZIO GESTIONE STRADE
UFFICIO GESTIONE PER LA ZONA CENTRO

PROGETTO ESECUTIVO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA SP 211
DEI MONTI LESSINI KM 9+135 CIRCA.

RELAZIONE DI CALCOLO

ing. Stefano Filippi



STUDIO TECNICO ing. Stefano Filippi
INGEGNERIA CIVILE ED AMBIENTALE
Via Fornaci, 6 - 38068 Rovereto (TN)
Tel./Fax 0464-438535
P.IVA 02068150222



Rovereto, aprile 2025



INDICE

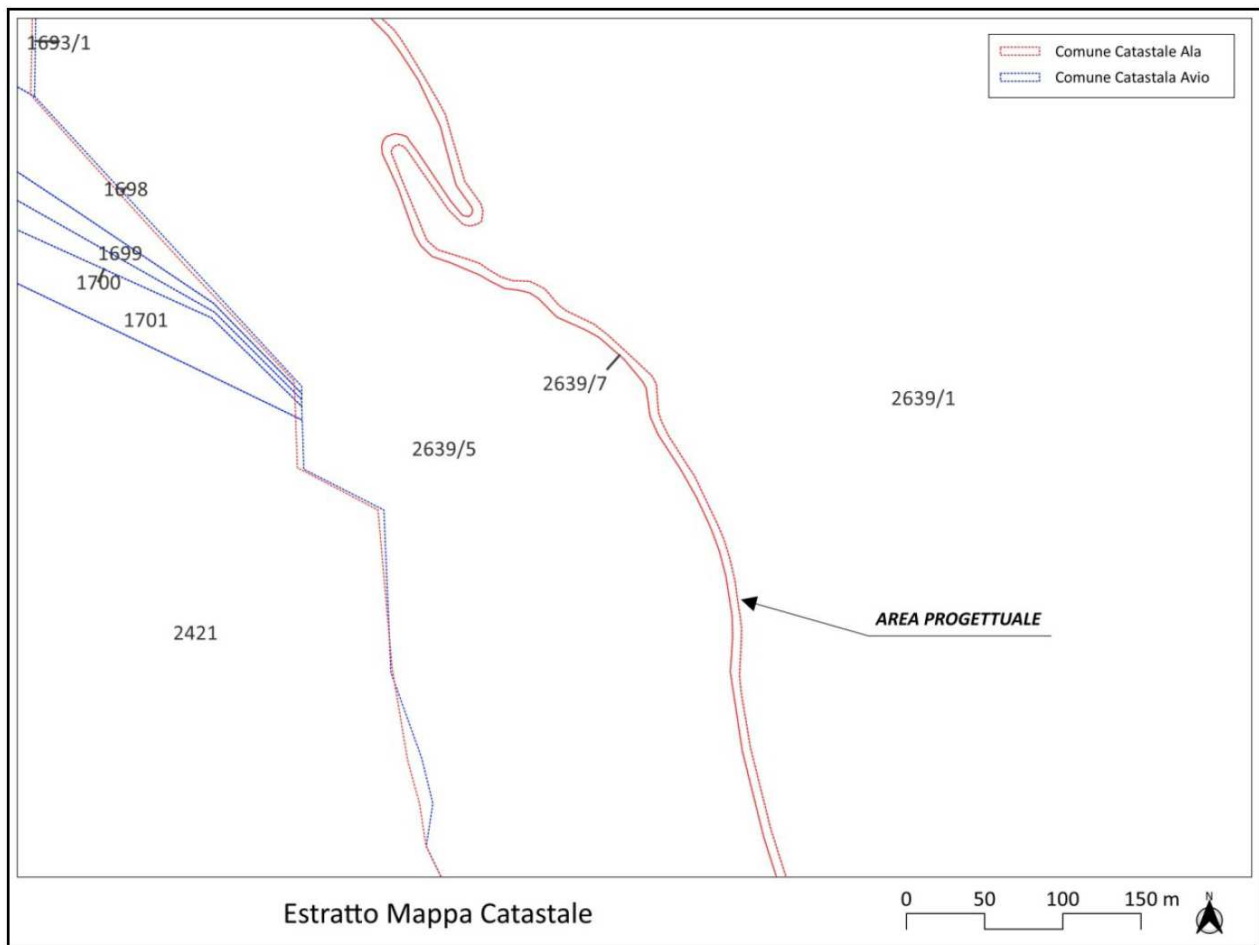
1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
RICHIAMI TEORICI.....	4
DATI.....	9
CONDIZIONI DI CARICO	11
IMPOSTAZIONI DI ANALISI.....	15
IMPOSTAZIONI ANALISI SISMICA.....	15
RISULTATI.....	16
3. PRESCRIZIONI E RACCOMANDAZIONI.....	22

1. PREMESSA

Su richiesta della ditta Georocce S.n.c., incaricata dal Servizio Gestione Strade della P.A.T di realizzare i "LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA SP 211 DEI MONTI LESSINI KM 9+135 CIRCA", si redige la presente relazione di calcolo per dimensionare il cordolo su micropali a sostegno della strada nel tratto interessato dal cedimento.

Le opere sono state previste nel progetto esecutivo a firma dell'ing. Italo Artico del Servizio Gestione Strade.

I parametri geotecnici sono stati desunti dalla RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE GEOLOGICA CONTENENTE LA MODELLAZIONE SISMICA a firma del geologo dott. Giuliano Lorenzetti.



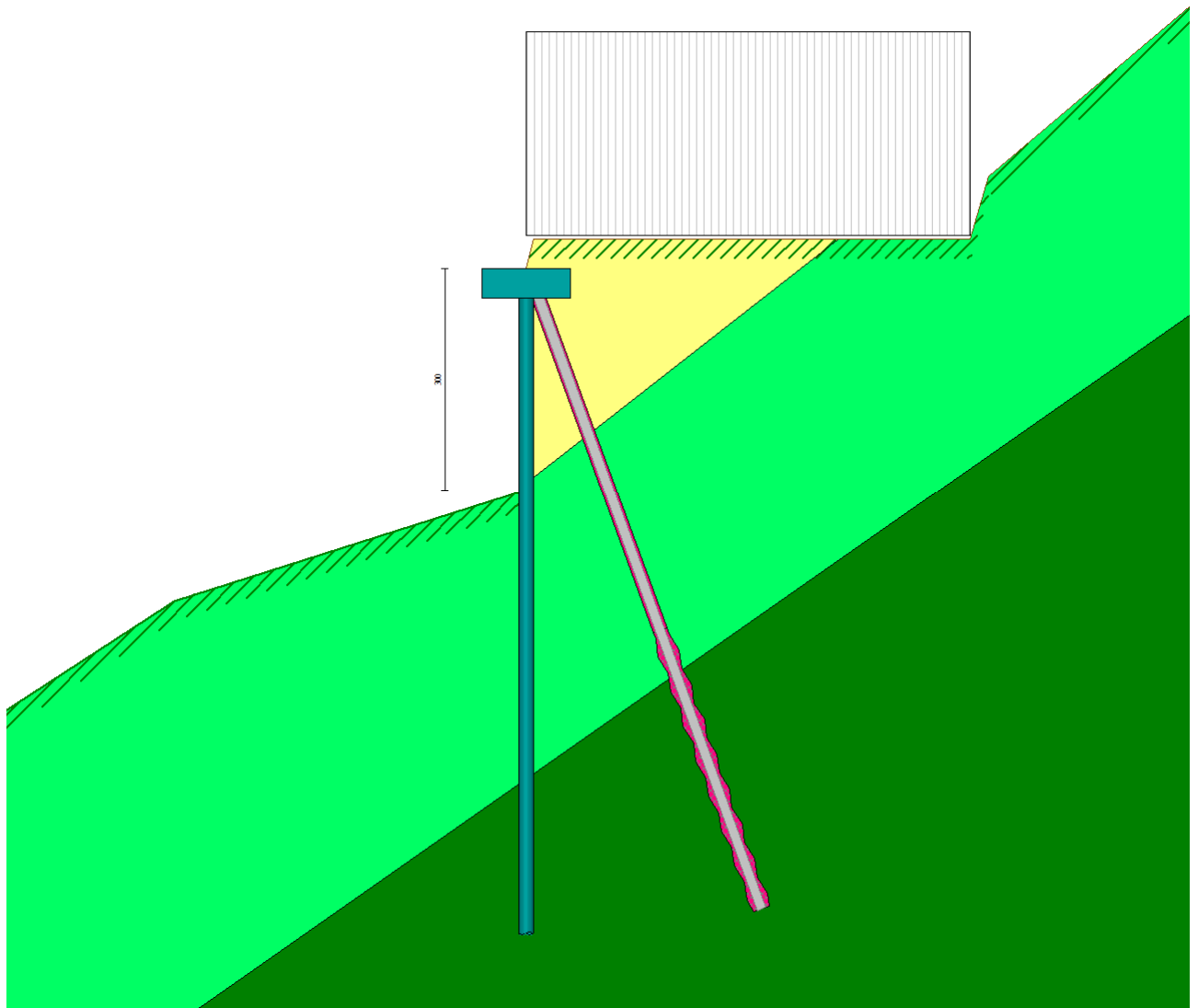
Corografia area intervento

Nel dettaglio sono previsti i seguenti interventi:

- SP 211 km 9+135: cordolo su micropali con lunghezza di circa 70 m.

Il dimensionamento dell'opera di sostegno è stato fatto sulla sezione con maggior cedimento (parte centrale) considerando un dislivello a valle di 3 metri per non tener conto dello strato superficiale di terreno soggetto a cedimento.

Nel tratto centrale si prevedono pali verticali diametro 127 mm x 8mm con passo 50 cm mentre per i tratti laterali diametro 127 mm x 8mm con passo 60 cm.



Nei prossimi capitoli si riportano le verifiche.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- 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

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 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_{p_v}** 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 $\tan(\phi)$ e sulla coesione

Calcolo delle 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 ρ 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

$$DS = S \cdot S_s$$

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 ϕ , 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_s 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

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

da cui si ricava la lunghezza di ancoraggio L_f

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

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

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

dove d è la somma dei diametri dei trefoli disposti nel tirante, τ_{co} 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 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

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'interesse 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, rigidezza flessionale e tagliante nulla e sono vincolate all'estremità alla traslazione. Quindi la matrice di rigidezza di tutto il sistema paratia-terreno sarà data dall'assemblaggio delle matrici di rigidezza degli elementi della paratia (elementi a rigidezza flessionale, tagliante ed assiale), delle matrici di rigidezza dei tiranti (solo rigidezza assiale) e delle molle (rigidezza assiale).

Modalità di analisi e comportamento elasto-plastico del terreno

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

$$Ku=p$$

Un sistema non lineare, invece, deve essere risolto mediante un'analisi al passo per tener conto della plasticizzazione delle molle. Quindi si procede per passi di carico, a partire da un carico iniziale p_0 , fino a raggiungere il carico totale p . Ogni volta che si incrementa il carico si controllano eventuali plasticizzazioni delle molle. Se si hanno nuove plasticizzazioni la matrice globale andrà riasssemblata



escludendo il contributo delle molle plasticizzate. Il procedimento descritto se fosse applicato in questo modo sarebbe particolarmente gravoso (la fase di decomposizione della matrice di rigidità è particolarmente onerosa). Si ricorre pertanto a soluzioni più sofisticate che escludono il riassetto 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

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

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:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{c_i b_i}{\cos \alpha_i} + (W_i \cos \alpha_i - u_i l_i) \tan \phi_i \right]}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \alpha_i}$$

dove 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 e c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre u ed l rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l = b / \cos \alpha_i$).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo si suddivide in n strisce e dalla formula precedente si ricava η . 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 ϕ 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:

$$Q = Q_p + Q_L - W_p$$

dove:

- Q_T portanza totale del palo
- Q_p portanza di base del palo
- Q_L portanza per attrito laterale del palo
- W_p peso proprio del palo

e le due componenti Q_p e Q_L sono calcolate in modo indipendente fra loro.

Dalla capacità portante del palo si ricava il carico ammissibile del palo Q_A 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:



$$Q_d = \frac{Q_p}{\eta_p} + \frac{Q_s}{\eta_s} - W_p$$

Palo teso:

$$Q_d = \frac{Q_s}{\eta_s} - W_p$$

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

γ 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:

$$Q_s = \int_S \tau_a dS$$

dove τ_a è dato dalla nota relazione di Coulomb

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

dove:

c_a è l'adesione palo-terreno

δ è l'angolo di attrito palo-terreno

γ 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.

DATI

Geometria paratia

Tipo paratia: **Paratia di micropali**

Altezza fuori terra	3,00	[m]
Profondità di infissione	6,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[m]
Lunghezza paratia	50,50	[m]

Numero di file di micropali	1	
Interasse fra i micropali della fila	0,50	[m]
Diametro dei micropali	20,00	[cm]
Numero totale di micropali	101	
Numero di micropali per metro lineare	2,00	
Diametro esterno del tubolare	127,00	[mm]
Spessore del tubolare	10,00	[mm]

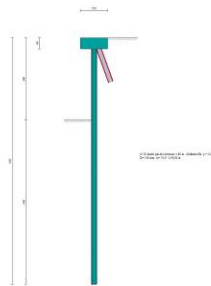


Fig. 1 - Sezione

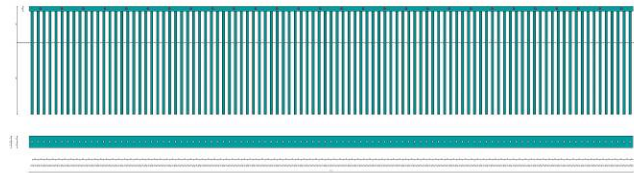


Fig. 2 - Pianta/Prospetto

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	100,00	40,00	--	--

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 [m]	Y [m]	A [°]
2	0,10	0,40	75.96
3	6,00	0,40	0.00
4	6,25	1,25	73.61
5	17,50	10,75	40.18
6	25,50	15,75	32.01
7	28,25	16,75	19.98

Profilo di valle

N°	X [m]	Y [m]	A [°]
1	-16,00	-11,50	0.00
2	-14,84	-11,05	75.96
3	-4,75	-4,50	0.00
4	0,00	-3,00	73.61

Descrizione terreni

Simbologia adottata

n° numero d'ordine
Descrizione Descrizione del terreno
γ peso di volume del terreno espresso in [kN/mc]
γ_{sat} peso di volume saturo del terreno espresso [kN/mc]
φ angolo d'attrito interno del terreno espresso in [°]
δ angolo d'attrito terreno/paratia espresso in [°]
c coesione del terreno espressa in [kPa]
ca adesione terreno/paratia espressa in [kPa]
Cesp coeff. di espansione laterale minimo e medio del tirante nello strato
τ tensione tangenziale minima e media lungo il tirante espresso in [kPa]

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

N°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ _{sat} [kN/mc]	φ [°]	δ [°]	c [kPa]	ca [kPa]	Cesp	τ [kPa]	
1	Livello_A	16,000	17,000	35,00	16,00	0,0	0,0	1.15	100,0	CAR
				35,00	16,00	0,0	100,0		MIN	
				35,00	16,00	0,0	100,0		MED	
2	Liello_B	18,500	18,500	35,00	17,00	3,0	1,5	1.05	200,0	CAR
				35,00	17,00	3,0	1,5		200,0	MIN
				35,00	17,00	3,0	1,5		200,0	MED
3	Livello_R	19,000	19,500	40,00	20,00	40,0	20,0	1.05	250,0	CAR
				40,00	20,00	40,0	20,0		250,0	MIN
				40,00	20,00	40,0	20,0		250,0	MED

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/cm²/cm]	K _{wV} [kg/cm²/cm]	Terreno M	Terreno V
1	2,90	38.00	40.00	0.54	0.72	Livello_A	Liello_B
2	4,00	35.00	35.00	2.04	2.21	Liello_B	Liello_B
3	14,00	0.00	0.00	8.97	9.18	Livello_R	Livello_R

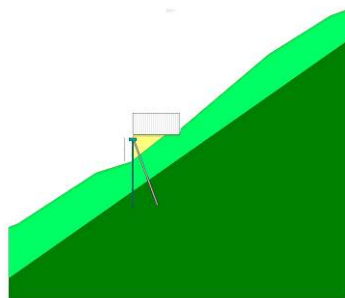


Fig. 3 - Stratigrafia

Caratteristiche tiranti di ancoraggio

Tipologia tiranti n° 2 - PALI INCLINATI

Calcolo tiranti:	VERIFICA	
Diametro della perforazione	19,00	[cm]
Coeff. di espansione laterale	1.00	
Malta utilizzata per i tiranti		
Classe di Resistenza	Rck 250	
Resistenza caratteristica a compressione R _{ck}	24517	[kPa]
Acciaio utilizzato per i tiranti		
Tipo	S 355	
Tensione di snervamento f _{yk}	355000	[kPa]
Tiranti passivi armati con tubolare		
Diametro esterno del tubolare:	127,00	[mm]
Spessore del tubolare:	10,00	[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} = 1643	[kPa]

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 [m]	I [m]	f [m]	Alfa [°]	ALL	nr	Lt [m]	Lf [m]	T [kN]
1	PALI INCLINATI	0,20	1,80	0,20	70.00	Sfalsati	28	9,00	--	--

Caratteristiche materiali utilizzati

Simbologia adottata

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

Descrizione	γ _{cls} [kN/mc]	Classe cls	Rck [kPa]	E [kPa]	Acciaio	n
Paratia	24,52	C20/25	25000	30200389	S 355	15.00
Cordolo/Muro	24,52	C25/30	30000	31447048	B450C	15.00

Coeff. di omogeneizzazione cls tesoro/compresso 1.00

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

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	
I _g	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 _r	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 - Variabile da traffico - TRAFFICO (I_g=0) [Ψ₀=0.75 - Ψ₁=0.75 - Ψ₂=0.00]

Carico distribuito sul profilo	$X_i = 0,00$	$X_r = 6,00$	$Q_i = 20,00$	$Q_r = 20,00$
--------------------------------	--------------	--------------	---------------	---------------

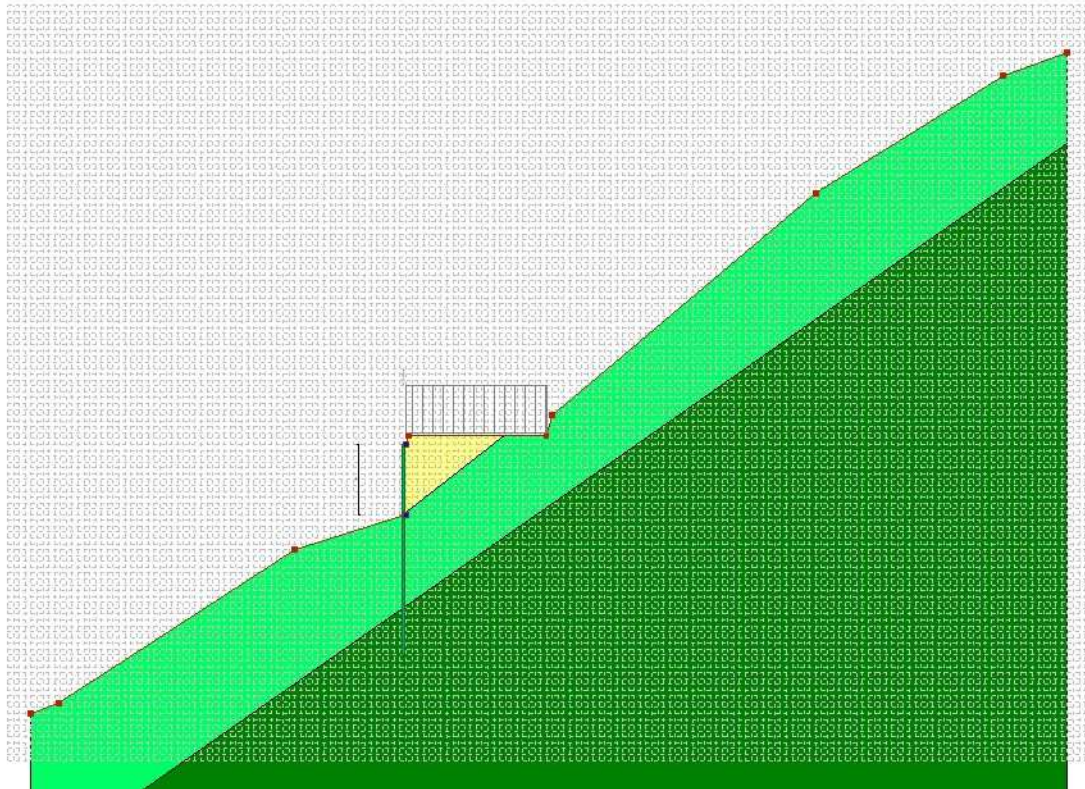


Fig. 4 - Carichi (Condizione n° 1)

Condizione n° 2 - Eccezionale - BARRIERA STRADALE

Carico concentrato sulla paratia	$Y=0,00$	$F_x=31,52$	$F_y=0,00$	$M=18,91$
----------------------------------	----------	-------------	------------	-----------

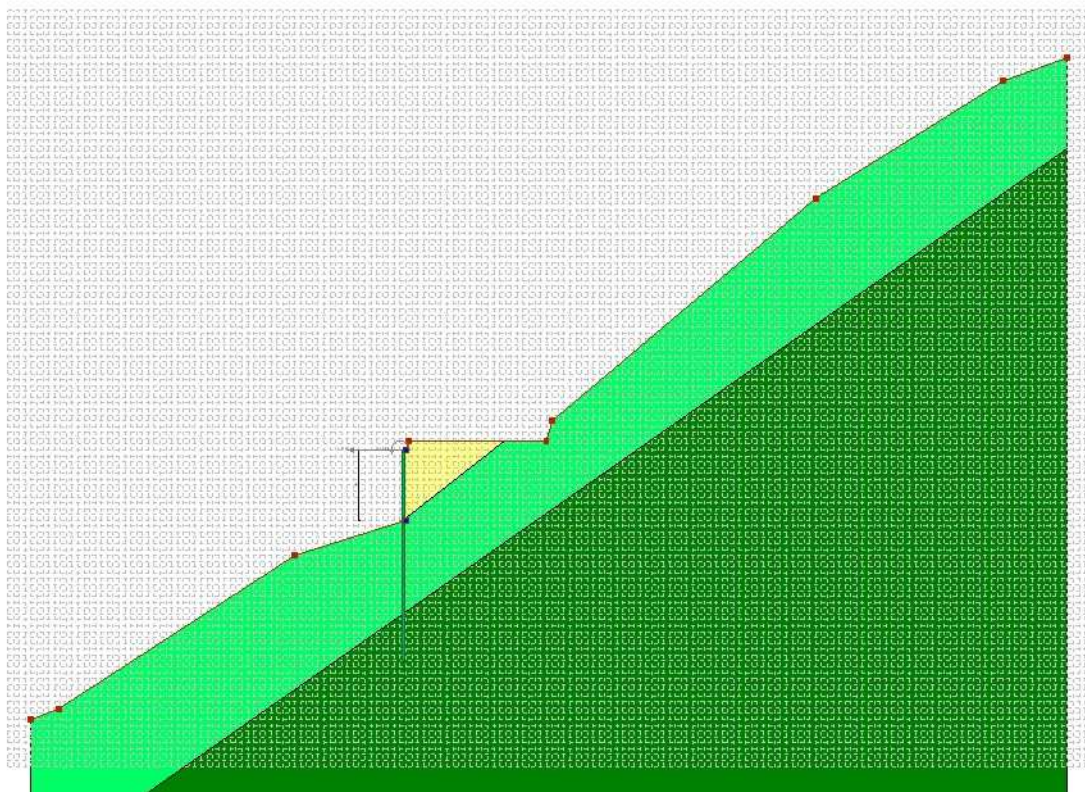


Fig. 5 - Carichi (Condizione n° 2)

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	
TRAFFICO	SFAV	1.35	1.00

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

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	
TRAFFICO	SFAV	1.15	1.00

Combinazione n° 3 - SLV - 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 - Eccezionale

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	
BARRIERA STRADALE	SFAV	1.00	1.00

Combinazione n° 6 - SLE - Rara

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	
TRAFFICO	SFAV	1.00	1.00

Combinazione n° 7 - SLE - Frequente

Condizione	Fav/Sfav	γ	Ψ
Spinta terreno	SFAV	1.00	
TRAFFICO	SFAV	1.00	0.75

Combinazione n° 8 - SLE - Quasi permanente

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 uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60	1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_r	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 1 $\xi_3=1,80$ $\xi_4=1,80$

Portanza assiale. Coeff. parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche

Resistenza		Pali infissi			Pali trivellati		
		R1	R2	R3	R1	R2	R33
Punta	γ_b	1.00	1.45	1.15	1.00	1.70	1.35
Laterale compressione	γ_s	1.00	1.45	1.15	1.00	1.45	1.15

Coefficienti di riduzione ζ per la determinazione della resistenza caratteristica dei pali

Numero di verticali indagate 1

$\zeta_3=1.70$ $\zeta_4=1.70$

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 acciaio

$$V_{c,Rd1} = \frac{A_v f_{yk}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

con:

A_v Area lorda sezione profilo

Impostazioni verifiche SLE

Condizioni ambientali Ordinarie

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}**

Opzioni calcolo portanza

Portanza verticale

Metodo di calcolo della portanza alla punta Berezantzev
Metodo di calcolo della portanza alla laterale Integrazione delle tensioni tangenziali ($k_s \sigma_v \tan(\delta) + c_a$)

Correzione angolo di attrito in funzione del tipo di palo (infilso/trivellato) Attiva

Tecnologia costruttiva: Trivellato
Contributo portanza palo: Laterale + Punta

IMPOSTAZIONI ANALISI SISMICA

Identificazione del sito

Latitudine 45.757753
Longitudine 11.000256
Comune Ala
Provincia Trento
Regione Trentino-Alto Adige

Punti di interpolazione del reticolo 11176 - 11398 - 11399 - 11177

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera di importanza strategica
Vita nominale 100 anni
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]	2.551	1.088
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale F_0	2.406	2.411
Valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione T_c^* [sec]	0.288	0.271
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.200	1.200
Tipo di sottosuolo	B	
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.150	1.200
Coefficiente di riduzione per tipo di sottosuolo (α)	1.000	1.000
Spostamento massimo senza riduzione di resistenza U_s [m]	0.040	0.040
Coefficiente di riduzione per spostamento massimo (β)	0.642	0.642
Prodotto $\alpha \beta$	0.642 > 0.2	0.642 > 0.2
Coefficiente di intensità sismica [%]	23.026	10.250
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale (kv)	0.50	
Coefficiente di riduzione (β_s)	0.380	0.470
Coefficiente di intensità sismica nella verifica di stabilità [%]	13.634	7.507

Inerzia massa strutturale **Non considerata**

Influenza sisma nella spinta attiva da monte
Forma diagramma incremento sismico: Triangolare con vertice in alto.

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 60 elementi fuori terra e 120 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	3,00	[m]
Profondità di infissione	6,00	[m]
Altezza totale della paratia	9,00	[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 [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 [kN]	Y _{Pa} [m]	Is [kN]	Y _{Is} [m]	Pw [kN]	Y _{Pw} [m]	Pp [kN]	Y _{Pp} [m]	Pc [kN]	Y _{Pc} [m]
1	SLU - STR	48,39	1,76	--	--	--	--	-32,68	4,26	9,11	6,43
2	SLU - GEO	51,94	1,81	--	--	--	--	-34,07	4,78	10,66	6,97
3	SLV - GEO	27,28	2,05	17,95	2,00	--	--	-31,22	4,50	7,49	7,09
4	SLV - GEO	27,38	2,00	12,34	2,00	--	--	-28,69	4,44	7,59	6,78
5	Eccezionale	21,13	1,87	--	--	--	--	-6,76	3,69	2,47	5,67
6	SLE - Rara	35,91	1,74	--	--	--	--	-24,17	4,15	6,54	6,34
7	SLE - Frequente	32,14	1,76	--	--	--	--	-21,95	4,08	5,78	6,28
8	SLE - Quasi permanente	21,13	1,87	--	--	--	--	-15,49	3,87	3,65	6,09

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 [kN]	Y _{Rc} [m]	Rt [kN]	Y _{Rt} [m]	Rv [kN]	Y _{Rv} [m]	Rp [kN]	Y _{Rp} [m]
1	SLU - STR	0,00	0,00	24,83	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
2	SLU - GEO	0,00	0,00	28,54	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
3	SLV - GEO	0,00	0,00	21,49	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
4	SLV - GEO	0,00	0,00	18,62	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Eccezionale	31,52	0,00	48,36	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
6	SLE - Rara	0,00	0,00	18,29	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
7	SLE - Frequente	0,00	0,00	15,97	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
8	SLE - Quasi permanente	0,00	0,00	9,28	0,20	0,00	0,00	0,00	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	3,27	4,15	5,16	19,83	0,41
2	SLU - GEO	3,55	4,90	8,16	38,02	1,02
3	SLV - GEO	3,37	4,50	8,25	47,11	0,93
4	SLV - GEO	3,36	4,50	8,03	35,54	0,93
5	Eccezionale	3,04	3,40	4,43	6,61	0,14
6	SLE - Rara	3,18	4,05	5,07	17,36	0,37
7	SLE - Frequente	3,15	3,95	5,01	15,70	0,35
8	SLE - Quasi permanente	3,04	3,65	4,83	10,74	0,26

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 [kN]
 P_{L,med}, P_{L,min} Portanza laterale media e minima, espressa in [kN]
 P_d Portanza di progetto, espressa in [kN]
 N Sforzo normale alla base del palo, espressa in [kN]
 FS Fattore di sicurezza (rapporto P_d/N)

n°	Tipo	P _{P,med} [kN]	P _{L,med} [kN]	P _{P,min} [kN]	P _{L,min} [kN]	P _d [kN]	N [kN]	FS
1	SLU - STR	546,29	359,32	546,29	359,32	421,83	41,04	10.279
5	Eccezionale	546,29	359,32	546,29	359,32	532,71	73,36	7.262

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 [kNm]	Y _M [m]	T [kN]	Y _T [m]	N [kN]	Y _N [m]	
1	SLU - STR	13,19	4,35	23,56	3,25	82,07	9,00	MAX
		-21,44	1,90	-23,06	0,20	0,00	0,00	MIN
2	SLU - GEO	16,06	4,95	23,41	3,50	92,27	9,00	MAX
		-26,98	2,05	-26,66	0,20	0,00	0,00	MIN
3	SLV - GEO	12,10	4,75	23,74	3,35	72,91	9,00	MAX
		-24,31	2,10	-20,96	0,20	0,00	0,00	MIN
4	SLV - GEO	11,52	4,60	21,10	3,35	65,02	9,00	MAX
		-20,41	2,05	-18,11	0,20	0,00	0,00	MIN
5	Eccezionale	25,25	0,20	31,89	0,20	146,72	9,00	MAX
		-0,20	6,95	-16,47	0,20	0,00	0,00	MIN
6	SLE - Rara	9,48	4,30	17,62	3,15	64,11	9,00	MAX
		-15,45	1,85	-16,97	0,20	0,00	0,00	MIN
7	SLE - Frequente	8,38	4,20	16,17	3,10	57,74	9,00	MAX
		-13,66	1,85	-14,88	0,20	0,00	0,00	MIN
8	SLE - Quasi permanente	5,31	4,05	11,85	3,00	39,37	9,00	MAX
		-8,74	1,85	-8,92	0,20	0,00	0,00	MIN

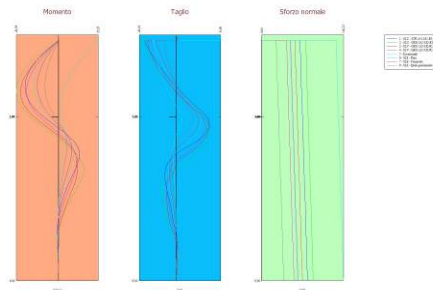


Fig. 6 - Sollecitazioni (Inviluppo)

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	0,7851	1,90	0,0349	0,00	MAX
		-0,0234	5,90	0,0000	0,00	MIN
2	SLU - GEO	1,1274	2,15	0,0396	0,00	MAX
		-0,0209	6,45	0,0000	0,00	MIN
3	SLV - GEO	0,9618	2,15	0,0307	0,00	MAX
		-0,0132	6,60	0,0000	0,00	MIN
4	SLV - GEO	0,7689	2,05	0,0270	0,00	MAX
		-0,0170	6,25	0,0000	0,00	MIN
5	Eccezionale	0,7827	0,00	0,0649	0,00	MAX
		-0,0071	5,25	0,0000	0,00	MIN
6	SLE - Rara	0,5541	1,85	0,0266	0,00	MAX
		-0,0172	5,85	0,0000	0,00	MIN
7	SLE - Frequente	0,4799	1,80	0,0236	0,00	MAX
		-0,0154	5,75	0,0000	0,00	MIN
8	SLE - Quasi permanente	0,2853	1,75	0,0151	0,00	MAX
		-0,0100	5,60	0,0000	0,00	MIN

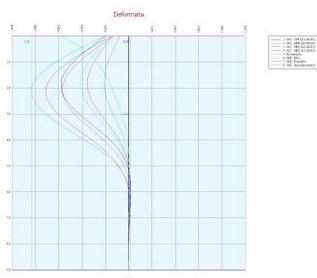


Fig. 7 - Spostamenti (Inviluppo)

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	4,0000	0,7851
2	SLU - GEO	4,0000	1,1274
3	SLV - GEO	4,0000	0,9618
4	SLV - GEO	4,0000	0,7689
5	Eccezionale	4,0000	0,7827
6	SLE - Rara	4,0000	0,5541
7	SLE - Frequente	4,0000	0,4799
8	SLE - Quasi permanente	4,0000	0,2853

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 [kN]
 R Resistenza passiva da valle (risultante diagramma delle pressioni passive da valle) espresso in [kN]
 W Spinta netta falda (positiva da monte verso valle), espresso in [kN]
 T Reazione tiranti espresso in [kN]
 P Reazione puntoni espresso in [kN]
 V Reazione vincoli espresso in [kN]
 C Risultante carichi applicati sulla paratia (positiva da monte verso valle) espresso in [kN]
 Y Punto di applicazione, espresso in [m]
 Mr Momento ribaltante, espresso in [kNm]
 Ms Momento stabilizzante, espresso in [kNm]
 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 Y [kN]	R Y [kN]	W Y [kN]	T Y [kN]	P Y [kN]	V Y [kN]	C Y [kN]	Mr [kNm]	Ms [kNm]	FS _{RIB}	FS _{SCO}
3	SLV - GEO	232,3734 4,91	580,4612 7,11	0,0000 0,00	21,4897 0,20	0,0000 0,00	0,0000 0,00	0,0000 0,00	950,7843	1285,9435	1.353	2.590

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
2	SLU - GEO	-8,10; 8,10	18,92	-13,36; -10,08	10,56; 4,89	1.892	1.100
3	SLV - GEO	-8,10; 8,10	18,92	-13,36; -10,08	10,56; 4,89	1.991	1.200
4	SLV - GEO	-8,10; 8,10	18,92	-13,36; -10,08	10,56; 4,89	2.030	1.200

Dettagli superficie con fattore di sicurezza minimo

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa alla paratia (spigolo contro terra)
Le strisce sono numerate da monte verso valle
N° numero d'ordine della striscia
W peso della striscia espresso in [kN]
 α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in gradi (positivo antiorario)
 ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kPa]
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 [kPa]
Ctn, Ctt contributo alla striscia normale e tangenziale del tirante espressa in [kN]

Combinazione n° 2 - SLU - GEO

Numero di strisce 51
Sisma verticale verso l'alto.

Caratteristiche delle strisce

N°	W _i [kN]	α [°]	L [m]	ϕ [°]	c [kPa]	u [kPa]	(Ctn; Ctt) [kN]
1	1,8545	-15.38	0,49	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
2	5,6865	-13.89	0,49	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
3	9,4025	-12.40	0,49	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
4	13,0044	-10.93	0,49	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
5	16,4942	-9.46	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
6	19,8734	-8.00	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
7	23,1432	-6.54	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
8	26,3048	-5.09	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
9	29,3589	-3.64	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
10	32,3062	-2.20	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
11	35,1471	-0.75	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
12	37,8818	0.69	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
13	40,5104	2.14	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
14	43,0325	3.59	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
15	45,4479	5.03	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
16	47,7558	6.49	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
17	49,9559	7.94	0,48	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
18	52,0837	9.40	0,48	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
19	53,4793	10.87	0,49	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
20	54,0012	12.35	0,49	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
21	54,4049	13.83	0,49	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
22	54,6896	15.32	0,49	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
23	54,8526	16.83	0,50	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
24	54,8913	18.34	0,50	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
25	54,8025	19.87	0,51	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
26	54,5826	21.41	0,51	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
27	54,2274	22.97	0,52	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
28	53,7325	24.55	0,52	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
29	87,9354	26.14	0,52	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
30	86,6359	27.73	0,53	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
31	84,8665	29.35	0,54	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
32	82,9403	30.99	0,55	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
33	80,8490	32.67	0,56	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
34	78,5835	34.37	0,57	33.87	32,0	0,0	(25,50; 0,00)
35	76,1331	36.11	0,58	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
36	73,4854	37.89	0,59	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
37	70,6260	39.72	0,61	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
38	64,9523	41.56	0,60	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
39	61,4619	43.41	0,62	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
40	57,7282	45.33	0,64	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
41	52,9986	47.32	0,67	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
42	45,0871	49.38	0,69	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
43	44,7547	51.53	0,73	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
44	42,9215	53.79	0,77	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
45	40,6332	56.18	0,81	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
46	37,7990	58.73	0,87	33.87	32,0	0,0	(0,00; 0,00)
47	34,3035	61.49	0,95	31.56	17,2	0,0	(0,00; 0,00)
48	30,0322	64.51	1,05	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
49	24,5917	67.93	1,20	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
50	17,3100	71.96	1,46	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)
51	6,5485	76.92	2,00	29.26	2,4	0,0	(0,00; 0,00)

Resistenza a taglio paratia = 0,0000 [kN]

$\Sigma W_i = 2356,0852$ [kN]

$\Sigma W_i \sin\alpha_i = 998,0710$ [kN]

$\Sigma W_i \cos\alpha_i \tan\phi_i = 1278,9581$ [kN]

$\Sigma c b_i / \cos\alpha_i = 592,6010$ [kN]

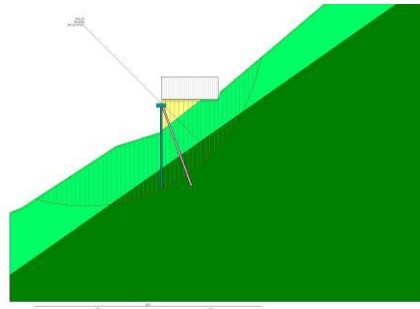


Fig. 8 - Stabilità globale (Combinazione n° 2)

Risultati tiranti

Simbologia adottata

N	sforzo su ogni tirante della fila espresso in [kN]
A _r	area di armatura in ogni tirante espressa in [cmq]
L	lunghezza totale di progetto del tirante espressa in [m]
L _f	lunghezza di fondazione di progetto del tirante espressa in [m]
σ _r	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 [kN]	A _r [cmq]	L _f [m]	L [m]	σ _r [kPa]	u [cm]	R1 [kN]	R2 [kN]	R3 [kN]	FS	cmb
1	130,92	36,76	4,00	9,00	35618	0,34877	280,01	5039,27	3924,02	2.139	1

Verifica armatura paratia (Inviluppo sezioni critiche)

Verifica a flessione

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
M	momento flettente espresso in [kNm]
N	sforzo normale 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)

Area della sezione del tubolare 36,76 [cmq]

n° - Tipo	Y [m]	M [kNm]	N [kN]	M _u [kNm]	N _u [kN]	FS
2 - SLU - GEO	2,05	-13,49	40,78	-45,03	136,15	3.339

Verifica a taglio

Simbologia adottata

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

La verifica a taglio sui micropali viene eseguita considerando il solo contributo resistente del tubolare. L'area della sezione effettiva di verifica (A_{eff}) viene determinata come area lorda (A) della sezione tubolare moltiplicata per 2 / π.

A_{eff} = 23,40 cmq

n° - Tipo	Y [m]	V _{Ed} [kN]	V _{Rd} [kN]	FS
5 - Eccezionale	0,20	15,94	456,77	28.648

Verifica tensioni

Simbologia adottata

n°	numero d'ordine della sezione
Y	ordinata della sezione rispetto alla testa della paratia espressa in [m]
σ _r	tensione nell'acciaio espressa in [kPa]
τ	tensione tangenziale in [kPa]
σ _{id}	tensione ideale espressa in [kPa]

Area della sezione del tubolare 36,76 [cmq]

σ [kPa]	τ [kPa]	σ_d [kPa]	cmb
84669	54	84669	6

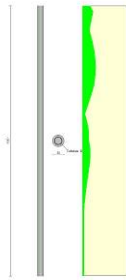


Fig. 9 - Armature - verifiche SLU

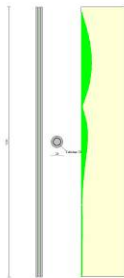


Fig. 10 - Armature - verifiche SLE

Verifica sezione cordoli

Simbologia adottata

M_h momento flettente espresso in [kNm] nel piano orizzontale
 T_h taglio espresso in [kN] nel piano orizzontale
 M_v momento flettente espresso in [kNm] nel piano verticale
 T_v taglio espresso in [kN] nel piano verticale

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

$B=100,00$ [cm]	$H=40,00$ [cm]	Staffe $\phi 10/15$	$N_{bh}=2 - N_{bv}=2$
$A_{rv}=10,18$ [cmq]	$A_{rh}=10,18$ [cmq]	$FS=19.07$	$\cotg\theta_h=2.50$
$M_h=19,58$ [kNm]	$M_{uh}=373,53$ [kNm]	$FS_T=19.71$	
$T_h=43,52$ [kN]	$T_{Rh}=857,92$ [kN]	$FS=3.87$	$\cotg\theta_v=2.43$
$M_v=53,81$ [kNm]	$M_{uv}=207,97$ [kNm]	$FS_{TV}=2.69$	
$T_v=119,57$ [kN]	$T_R=322,13$ [kN]		

3. PRESCRIZIONI E RACCOMANDAZIONI

In fase esecutiva si dovrà verificare che le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione siano compatibili con le ipotesi assunte nella presente progettazione ed eventualmente intervenire modificando le caratteristiche delle fondazioni.

Rovereto, aprile 2025

Il tecnico
ing. Stefano Filippi

