INDICE

RELAZIONE DESCRITTIVA E SPECIALISTICA……pag. 2

CALCOLI DELLE STRUTTURE……pag. 6

QUADRO ECONOMICO……pag. 29

RELAZIONE DESCRITTIVA E SPECIALISTICA

PREMESSA

Il Comune di Calasca Castiglione è il primo comune che si incontra risalendo la Valle Anzasca. La frazione Antrogna è il capoluogo e sede municipale, ed è ubicata alla quota di 685 m.s.l.m. Il territorio comunale ha un'estensione di 58 kmq circa ed è composto da molti alpeggi e da varie frazioni abitate tra le quali si segnalano Castiglione, Calasca Dentro, Molini, Vigino e Barzona

Il presente progetto, redatto a livello ESECUTIVO, ha come oggetto il secondo stralcio dei lavori per la realizzazione di una strada di collegamento alla frazione Molini Alta.

Il progetto definitivo ha ottenuto **Parere favorevole** in data 04 settembre 2009 prot.n. 63796/DB14.13 da parte del settore decentrato delle OO.PP. della Regione Piemonte, ai sensi dell'Art.31 L.R. 56/77, e **Parere favorevole** del Settore Beni Ambientali con **Determinazione n.102 del 18.03.2009** nella quale sono contenute alcune prescrizioni operative che vengono interamente recepite nel presente progetto.

La strada è stata progettata in deroga dai criteri di progettazione previsti dal Decreto 5 novembre 2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", così come previsto al Cap.1 del decreto medesimo, in quanto trattasi di strada locale di montagna collocata su terreni morfologicamente difficili che non consentono il rispetto dei suddetti criteri di progettazione.

FINALITA' DELL'INTERVENTO E SOLUZIONE PROGETTUALE

L'intervento prevede la realizzazione di una strada di collegamento tra la Strada Provinciale della Valle Anzasca e la frazione alta di Molini, che attualmente non è raggiunta da un'adeguata viabilità veicolare. Le abitazioni, infatti, sono servite soltanto da ripide scalinate pedonali e da un'angusta strada asfaltata che presenta strettoie e curve secche per buona parte del suo sviluppo.

In queste condizioni è praticamente impossibile che qualsiasi mezzo di servizio o di soccorso possa raggiungere la zona abitata più alta, senza contare le difficoltà di percorrenza anche per le normali automobili, soprattutto nel caso di incrocio di due veicoli.

Tra le varie proposte di tracciato analizzate in fase di progettazione è stata scelta la soluzione che rappresenta il migliore compromesso tra costo e fattibilità realizzativa, intesa quest'ultima sia da un punto di vista tecnico che da un punto di vista ambientale, in funzione anche del minor danno possibile alle proprietà private.

Sotto questo aspetto, infatti, si è scelto di sviluppare la prima parte del tracciato a mezza costa in una porzione di territorio non coltivata ed in massima parte trascurata, coperta parzialmente da un bosco spontaneo cresciuto in conseguenza dell'abbandono. Nella realtà montana spesso il decremento della presenza umana comporta gradualmente una diminuzione della manutenzione del territorio e l'abbandono delle aree stesse.

Il territorio oggetto di intervento è caratterizzato dalla presenza quasi continua di muri in pietrame a secco formanti antichi terrazzamenti impostata su un substrato roccioso di buona consistenza e stabilità, affiorante in vari punti. La copertura detritica del substrato roccioso è di origine eluvio-colluviale, con matrice terrosa fine, ed ha uno spessore variabile da pochi centimetri ad un massimo di 1-1,50 metri.

Questa porzione di territorio è compresa tra due corsi d'acqua rispettivamente posti ad est e ovest, tra la Strada Comunale a nord e la Strada Provinciale a sud.

Scegliendo di contenere il tracciato entro queste delimitazioni ne deriva che, al fine di superare il dislivello esistente tra l'innesto con la Strada Provinciale ed il passaggio obbligato sul ponte esistente sul Rio Borca, è necessario impostare la strada su quattro tornanti con raggio sull'asse di 6,00 metri.

Il primo tratto di strada (di cui ne è già stato realizzato il primo segmento di circa 100 metri lineari autorizzato con Determinazione n.32 del 19 marzo 2003 ai sensi del D.lgs 490/99) parte ad una quota di 488,03 mt s.l.m. e raggiunge il ponte esistente sul Rio Borca ad una quota di 526,00 mt s.l.m. con uno sviluppo di 287,00 metri. La pendenza in questo primo tratto si aggira intorno al 14,4 % in diminuzione negli ultimi 50 metri, prima di raggiungere il ponticello, fino al 7,60 %.

Data la ripidità del pendio sarà necessario realizzare alcuni muri di sostegno e di controripa, soprattutto in prossimità dei tornanti. I muri saranno realizzati con massi di cava semisquadrati con vani scagliati e intasati con il pietrame recuperato dalle opere di sbancamento dei terrazzamenti esistenti lungo il percorso, al fine di dare un aspetto più gradevole al manufatto. Dove sarà invece possibile impostare le scarpate in terra, senza la realizzazione di muri di sostegno, si prevede semplicemente la costruzione di un cordolo di stabilizzazione del pendio sul lato di monte della sezione stradale. Questo non sarà necessario laddove si trovi, in corso d'opera, roccia affiorante.

La realizzazione di muri di sostegno in massi di cava è imposta dalla tipologia del terreno che potrebbe subire, altrimenti, fenomeni di ruscellamento delle acque con conseguente scivolamento della sede stradale. Solo dove sarà necessario è previsto, per i muri di sostegno di valle, un adeguato basamento in calcestruzzo armato e ancorato al substrato roccioso con barre d'acciaio.

Le cunette saranno ricavate modellando semplicemente la pavimentazione contro il cordolo, la roccia o il muro di controripa. Il piano stradale avrà una pendenza uniforme del 2-3 % verso la cunetta al fine di convogliare le acque di ruscellamento.

Sulla sommità dei muri di sostegno di valle sarà realizzato un banchettone in cemento armato provvisto di barriera di acciaio zincato formata da montanti IPE 120 e tre correnti tubolari De 48 mm. Tale barriera sarà posta anche sul ponte esistente in sostituzione del vecchio e danneggiato guard-rail.

Il secondo tratto della strada, dopo l'attraversamento sul Rio Borca, segue l'antica mulattiera esistente prevedendo un'allargamento del tracciato sul lato di monte, fino a raggiungere la piazzetta esistente dell'agglomerato di Molini Alta. Questo tratto presenta una lunghezza di 150,00 metri circa, parte dal ponte ad una quota di 526 mt s.l.m. e termina alla piazzetta ad una quota di 515,71 mt s.l.m. Nell'ultimo tratto la pendenza varia da 9,27 % a 1,50 %, assecondando con lievi rettifiche la livelletta attuale della mulattiera.

La sezione stradale sarà ricavata sbancando verso monte e ricostruendo il muro di controripa in massi di cava semisquadrati miscelati con il pietrame recuperato dalle opere di sbancamento dei terrazzamenti, e mantenendo invece il muro in pietrame esistente a valle. Per misure di sicurezza e per non gravare con il carico accidentale della strada sui muri esistenti a valle, questi saranno irrobustiti con un banchettone in c.a. continuo, ma distaccato dal ciglio del nastro asfaltato da una fascia di terra della larghezza di 1 metro.

Al termine del tracciato, appena prima di raggiungere la piazzetta della frazione di Molini Alta, è necessario attraversare un piccolo impluvio esistente: si prevede quindi la realizzazione di un tombino in massi di cava avente una sezione minima di 1,00 x 1,00 metri.

Complessivamente il tracciato della strada presenta uno sviluppo di 452.54 metri.

La larghezza totale della sezione stradale è prevista di 3,00 metri, con banchina o banchettone a valle della larghezza di 0,70 metri e cunette realizzate a monte della strada, della larghezza di 0,50 metri per la raccolta e lo smaltimento delle acque di ruscellamento. La pavimentazione stradale sarà realizzata in conglomerato bituminoso costituito da pietrisco di frantoio agglomerato a bitume caldo, la cui superficie granulosa, in conseguenza all'asportazione per usura della pellicola superficiale di bitume, acquisirà con il tempo una colorazione di pietra naturale, conservando però la necessaria compattezza.

Risulta evidente, da un punto di vista ambientale, la necessità di mantenere il più possibile la vegetazione esistente. Si precisa che lungo tutto il tracciato della strada il taglio degli alberi sarà assolutamente controllato, limitando gli abbattimenti solo agli esemplari che si trovano sul percorso.

Come risulta chiaramente leggibile dalla documentazione fotografica allegata, il taglio della vegetazione sarà concentrato esclusivamente nel primo tratto di strada fino all'altezza circa del terzo tornante, essendo la rimanente parte del percorso caratterizzata da una vegetazione arbustiva bassa, prato e infine dalla mulattiera esistente. In ogni modo la vegetazione della parte bassa del tracciato risulta poco fitta, piuttosto bassa e caratterizzata da specie non pregiate.

Al termine dei lavori di realizzazione della strada il progetto prevede il recupero ambientale delle scarpate.

I lavori oggetto del secondo stralcio si riferiscono al primo tratto di strada, cioè quello che va dal tornante ove è giunto il primo segmento già realizzato al ponte sul rio Borca. Su quest'ultimo è prevista la sostituzione della vetusta barriera guard-rail esistente con la nuova in acciaio zincato a tre tubi correnti.

PRESCRIZIONI OPERATIVE PER L'ESECUZIONE DELL'OPERA

Le seguenti prescrizioni sono contenute nei Pareri favorevoli del Settore Beni Ambientali di cui alle Determinazioni n.102 del 18.03.2009 e precedente n.32 del 19.03.2003.

- I muri devono essere realizzati con materiali e tipologia costruttiva coerenti con quelli già costruiti nel primo lotto.

- La larghezza della carreggiata stradale va contenuta in max 3.00 m ed il fondo realizzato in conglomerato bituminoso quanto più possibile chiaro, ottenuto con una mescola di inerti di granulometria medio-grossa di estrazione locale.

- I movimenti terra devono essere limitati allo stretto indispensabile.

- Sia posta particolare cura nella scelta e nell'impiego dei materiali e dei metodi di lavorazione che devono preservare le caratteristiche tipiche della zona.

- Le superfici interessate dai lavori devono essere sistemate e consolidate nel più breve tempo possibile.

- Le scarpate ottenute, sia in scavo che in riporto, devono essere immediatamente recuperate con il terreno vegetale preventivamente asportato e prontamente inerbite.

- Il taglio degli alberi e della vegetazione in genere deve essere limitato al minimo indispensabile.

CALCOLI DELLE STRUTTURE

VERIFICA DI STABILITA' MURI DI SOSTEGNO E CONTENIMENTO

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.
Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilitàdei 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 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:
- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione e verifica in diverse sezioni al ribaltamento, allo scorrimento ed allo schiacciamento.

Calcolo della spinta sul muro

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite gli Eurocodici è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valodi di calcolo (o di progetto) sia delle azioni che delle resistenze.
I valori di calcolo si ottengono dai valori caratteristici mediante l'applicazione di opportuni coefficienti di sicurezza parziali γ. In particolare si distinguono combinazioni di carico di tipo **A1-M1** nelle quali vengono incrementati i carichi permanenti e lasciati inalterati i parametri di resistenza del terreno e combinazioni di carico di tipo **A2-M2** nelle quali vengono ridotti i parametri di resistenza del terreno e lasciati inalterati i carichi.
Operando in tal modo si ottengono valori delle spinte (azioni) maggiorate e valori di resistenza ridotti e pertanto nelle verifiche globali è possibile fare riferimento a coefficienti di sicurezza unitari.

Metodo di Culmann

Il metodo di Culmann adotta le stesse ipotesi di base del metodo di Coulomb. 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 coefficiente di 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). Come il metodo di Coulomb anche questo metodo considera una superficie di rottura rettilinea.
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.
La convergenza non si raggiunge se il terrapieno risulta inclinato di un angolo maggiore dell'angolo d'attrito del terreno.
Nei casi in cui è applicabile il metodo di Coulomb (profilo a monte rettilineo e carico uniformemente distribuito) i risultati ottenuti col metodo di Culmann coincidono con quelli del metodo di Coulomb.
Le pressioni sulla parete di spinta si ricavano derivando l'espressione della spinta S rispetto all'ordinata *z*. Noto il diagramma delle pressioni è possibile ricavare il punto di applicazione della spinta.

Spinta in presenza di sisma

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana).
La Normativa Italiana suggerisce di tener conto di un incremento di spinta dovuto al sisma nel modo seguente.
Detta ε l'inclinazione del terrapieno rispetto all'orizzontale e β l'inclinazione della parete rispetto alla verticale, si calcola la spinta *S'* considerando un'inclinazione del terrapieno e della parte pari a

$$\varepsilon' = \varepsilon + \theta$$

$$\beta' = \beta + \theta$$

dove $\theta = \text{arctg}(k_h/(1\pm k_v))$ essendo k_h il coefficiente sismico orizzontale e k_v il coefficiente sismico verticale, definito in funzione di k_h.
In presenza di falda a monte, θ assume le seguenti espressioni:

Terreno a bassa permeabilità

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma_{sat}/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1\pm k_v))]$$

Terreno a permeabilità elevata

$$\theta = \text{arctg}[(\gamma/(\gamma_{sat}-\gamma_w))*(k_h/(1\pm k_v))]$$

Detta *S* la spinta calcolata in condizioni statiche l'incremento di spinta da applicare è espresso da

$$\Delta S = AS' - S$$

dove il coefficiente *A* vale

$$A = \frac{\cos^2(\beta+\theta)}{\cos^2\beta\cos\theta}$$

In presenza di falda a monte, nel coefficiente *A* si tiene conto dell'influenza dei pesi di volume nel calcolo di θ.
Adottando il metodo di Mononobe-Okabe per il calcolo della spinta, il coefficiente *A* viene posto pari a 1.
Tale incremento di spinta è applicato a metà altezza della parete di spinta nel caso di forma rettangolare del diagramma di incremento sismico, allo stesso punto di applicazione della spinta statica nel caso in cui la forma del diagramma di incremento sismico è uguale a quella del diagramma statico.
Oltre a questo incremento bisogna tener conto delle forze d'inerzia orizzontali e verticali che si destano per effetto del sisma. Tali forze vengono valutate come

$$F_{iH} = k_h W \qquad F_{iV} = \pm k_v W$$

dove *W* è il peso del muro, del terreno soprastante la mensola di monte ed i relativi sovraccarichi e va applicata nel baricentro dei pesi.
Il metodo di Culmann tiene conto automaticamente dell'incremento di spinta. Basta inserire nell'equazione risolutiva la forza d'inerzia del cuneo di spinta. La superficie di rottura nel caso di sisma risulta meno inclinata della corrispondente superficie in assenza di sisma.

Verifica a ribaltamento

La verifica a ribaltamento consiste nel determinare il momento risultante di tutte le forze che tendono a fare ribaltare il muro (momento ribaltante M_r) ed il momento risultante di tutte le forze che tendono a stabilizzare il muro (momento stabilizzante M_s) rispetto allo spigolo a valle della fondazione e verificare che il rapporto M_s/M_r sia maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_r.
Eseguendo il calcolo mediante gli eurocodici si puo impostare $\eta_r >= 1.0$.

Deve quindi essere verificata la seguente diseguaglianza

$$\frac{M_s}{M_r} >= \eta_r$$

Il momento ribaltante M_r è dato dalla componente orizzontale della spinta *S*, dalle forze di inerzia del muro e del terreno gravante sulla fondazione di monte (caso di presenza di sisma) per i rispettivi bracci. Nel momento stabilizzante interviene il peso del muro (applicato nel baricentro) ed il peso del terreno gravante sulla fondazione di monte. Per quanto riguarda invece la componente verticale della spinta essa sarà stabilizzante se l'angolo d'attrito terra-muro δ è positivo, ribaltante se δ è negativo. δ è positivo quando è il terrapieno che scorre rispetto al muro, negativo quando è il muro che tende a scorrere rispetto al terrapieno (questo può essere il caso di una spalla da ponte gravata da carichi notevoli). Se sono presenti dei tiranti essi contribuiscono al momento stabilizzante.
Questa verifica ha significato solo per fondazione superficiale e non per fondazione su pali.

Verifica a scorrimento

Per la verifica a scorrimento del muro lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere il muro deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento sisulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere il muro F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s
Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s >= 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} >= \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.
La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta *N* la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \, tg \, \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle del muro. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 percento.
Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f, diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi dal muro sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q. Cioè, detto Q_u, il carico limite ed *R* la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$\frac{Q_u}{R} >= \eta_q$$

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare η_q>=1.0
Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c\, N_c d_c i_c + q N_q d_q i_q + 0.5\gamma B N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

In questa espressione

c	coesione del terreno in fondazione;
ϕ	angolo di attrito del terreno in fondazione;
γ	peso di volume del terreno in fondazione;
B	larghezza della fondazione;
D	profondità del piano di posa;
q	pressione geostatica alla quota del piano di posa.

I vari fattori che compaiono nella formula sono dati da:

$A = e^{\pi \, tg\, \phi}$

$N_q = A\, tg^2(45°+\phi/2)$

$N_c = (N_q - 1)\, ctg\, \phi$

$N_\gamma = (N_q - 1)\, tg\, (1.4\phi)$

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$K_p = tg^2(45°+\phi/2)$

I fattori *d* e *i* che compaiono nella formula sono rispettivamente i fattori di profondità ed i fattori di inclinazione del carico espressi dalle seguenti relazioni:

Fattori di profondità

$$d_q = 1 + 0.2 \frac{D}{B} \sqrt{K_p}$$

$d_q = d_\gamma = 1$ per $\phi = 0$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 \frac{D}{B} \sqrt{K_p} \quad \text{per } \phi > 0$$

Fattori di inclinazione

Indicando con θ l'angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale (espresso in gradi) e con ϕ l'angolo d'attrito del terreno di posa abbiamo:

$i_c = i_q = (1 - \theta°/90)^2$

$$i_\gamma = (1 - \frac{\theta°}{\phi°})^2 \qquad \text{per} \quad \phi > 0$$

$i_\gamma = 0$ per $\phi = 0$

Verifica alla stabilità globale

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a η_g

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_g >= 1.0$
Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro o con i pali di fondazione. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro. Il numero di strisce è pari a 50.

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

$$\eta = \frac{\Sigma^n_i \left(\frac{c_i b_i}{\cos\alpha_i} + [W_i \cos\alpha_i - u_i l_i] tg\phi_i \right)}{\Sigma^n_i W_i \sin\alpha_i}$$

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_i ed l_i rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia ($l_i = b_i/\cos\alpha_i$).
Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in *n* strisce e dalla formula precedente si ricava η. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza della scarpata il minimo dei coefficienti così determinati.

Normativa

N.T.C. 2008

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_γ	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

Coefficienti di partecipazione combinazioni statiche

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

Carichi	*Effetto*	*EQU*	*A1*	*A2*

Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	0.90	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.10	1.30	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.50	1.30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

Coefficienti di partecipazione combinazioni sismiche

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

Carichi	*Effetto*		*EQU*	*A1*	*A2*
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.00	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		*M1*	*M2*
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{tan\phi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.00	1.40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1.00	1.60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.00	1.00

FONDAZIONE SUPERFICIALE

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	*Coefficienti parziali*		
	R1	R2	R3
Capacità portante della fondazione	1.00	1.00	1.40
Scorrimento	1.00	1.00	1.10
Resistenza del terreno a valle	1.00	1.00	1.40
Stabilità globale		1.10	

Coeff. di combinazione Ψ_0= 0.70 Ψ_1= 0.50 Ψ_2= 0.20

SEZIONE 13

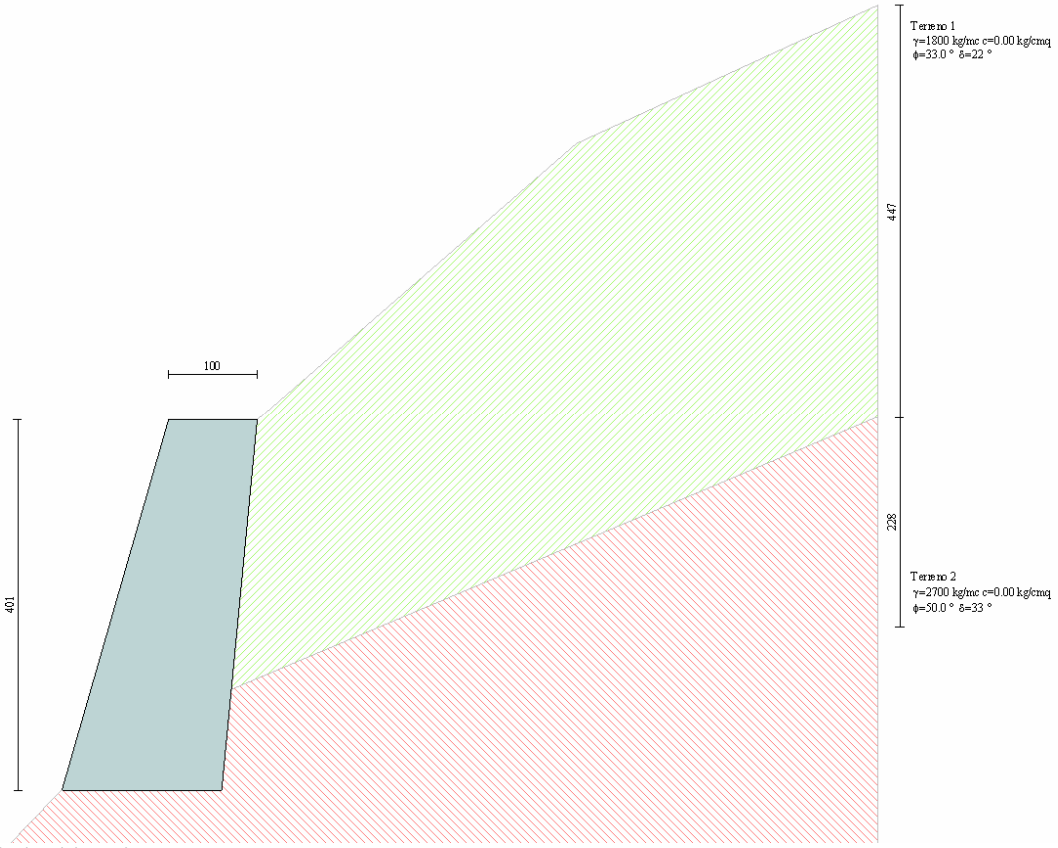
Questa verifica si riferisce al muro di controripa di dimensioni più elevate. Esso risulta direttamente ancorato in roccia, e vista la configurazione del pendio di monte non si configura la presenza di carichi accidentali.

Geometria muro e fondazione

Descrizione	**Muro a gravità in pietrame**
Altezza del paramento	4.00 [m]
Spessore in sommità	1.00 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1.80 [m]
Inclinazione paramento esterno	16.70 [°]
Inclinazione paramento interno	-5.70 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.00 [m]
Lunghezza totale fondazione	1.80 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.01 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]



Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2700.0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	30.0 [kg/cmq]
Angolo di attrito interno ϕ_p	45.00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	3.0 [kg/cmq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, 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 [°]

N	X	Y	A
1	3.60	3.00	39.81
2	7.00	4.50	23.81

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 45.00 [°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.00 [m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata
Nr. Indice del terreno
Descrizione Descrizione terreno
γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]
σ_{amm} Tensione ammissibile espressa in [kg/cmq]

Descrizione	γ	γ_s	ϕ	δ	c	c_a	σ_{amm}
Terreno 1	1800	2000	33.00	22.00	0.000	0.000	1.50
Terreno 2	2700	2700	50.00	33.33	0.000	0.000	5.00

Stratigrafia

Simbologia adottata

N Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
a Inclinazione espressa in [°]
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
Ks Coefficiente di spinta
Terreno Terreno dello strato

Nr.	H	a	Kw	Ks	Terreno
1	2.80	22.00	0.00	0.00	Terreno 1
2	2.00	20.00	1.62	0.00	Terreno 2

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata
γ Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ Coefficiente di combinazione della condizione
C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.30	1.00	1.30

Spinta terreno	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 EQU

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10

Combinazione n° 3 STAB

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 EQU - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 7 EQU - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 STAB - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 STAB - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 SLE (Quasi Permanente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00

Impostazioni di analisi

Impostazioni avanzate

Influenza del terreno sulla fondazione di valle nelle verifiche e nel calcolo delle sollecitazioni

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata
C Identificativo della combinazione
Tipo Tipo combinazione
Sisma Combinazione sismica
CS_{SCO} Coeff. di sicurezza allo scorrimento
CS_{RIB} Coeff. di sicurezza al ribaltamento
CS_{QLIM} Coeff. di sicurezza a carico limite
CS_{STAB} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	cs_{sco}	cs_{rib}	cs_{qlim}	cs_{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	1.68	--	3.58	--
2	EQU - [1]	--	--	1.32	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.40
4	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	2.10	--	4.74	--
5	A1-M1 - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	2.10	--	4.75	--
6	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	1.42	--	--
7	EQU - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	1.42	--	--
8	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.40
9	STAB - [2]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.40
10	SLEQ - [1]	--	2.12	--	3.41	--
11	SLEF - [1]	--	2.12	--	3.41	--
12	SLER - [1]	--	2.12	--	3.41	--

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
Origine in testa al muro (spigolo di monte)
Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della stabilità globale	metodo di Fellenius
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Sisma

Accelerazione al suolo a_g =	0.03 [m/s^2]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione (β_m)	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 0.08$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.04$
Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico

Partecipazione spinta passiva (percento)	0.0
Lunghezza del muro	10.00 [m]
Peso muro	15172.97 [kg]
Baricentro del muro	X=-0.94 Y=-2.20

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = -0.40		Y = -4.01	
Punto superiore superficie di spinta	X = 0.00		Y = 0.00	
Altezza della superficie di spinta	4.01	[m]		
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	-5.69	[°]		

COMBINAZIONE n° 1

Valore della spinta statica	7242.49	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	6856.66	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	2332.35	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.21	[m]	Y = -2.06	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	24.47	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	49.74	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	5.77	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.83	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	6856.66	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	17511.08	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	17511.08	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	6856.66	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.30	[m]
Risultante in fondazione	18805.63	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	21.38	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	5313.29	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	62682.69	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1.79	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1.9555	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.0000	[kg/cmq]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.68
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.58

COMBINAZIONE n° 2

Valore della spinta statica	9364.84	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	9074.31	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	2314.54	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.20	[m]	Y = -2.03	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	19.99	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	41.71	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	4.88	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.83	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	9074.31	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	17492.39	[kg]
Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	17995.70	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	23766.98	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	17492.39	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	9074.31	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.57	[m]

Risultante in fondazione	19706.01	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	27.42	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	9978.91	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 1.32

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 9

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)

ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

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

b larghezza della striscia espressa in [m]

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

Metodo di Fellenius

Numero di cerchi analizzati 36

Numero di strisce 25

Cerchio critico

Coordinate del centro X[m]= -2.74 Y[m]= 2.13

Raggio del cerchio R[m]= 6.57

Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -2.65

Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 3.77

Larghezza della striscia dx[m]= 0.26

Coefficiente di sicurezza C= 1.40

Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α(°)	Wsinα	b/cosα	ϕ	c	u
1	1079.09	77.19	1052.25	1.16	27.45	0.000	0.000
2	1406.13	69.01	1312.82	0.72	27.45	0.000	0.000
3	1580.21	63.38	1412.73	0.57	27.45	0.000	0.000
4	1697.35	58.73	1450.71	0.49	27.45	0.000	0.000
5	1781.17	54.63	1452.50	0.44	31.04	0.000	0.000
6	1875.22	50.92	1455.74	0.41	43.63	0.000	0.000
7	1959.02	47.49	1444.11	0.38	43.63	0.000	0.000
8	2019.98	44.27	1410.01	0.36	43.63	0.000	0.000
9	2061.82	41.22	1358.56	0.34	43.63	0.000	0.000
10	2087.20	38.30	1293.66	0.33	43.63	0.000	0.000
11	2098.11	35.50	1218.38	0.32	43.63	0.000	0.000
12	2096.08	32.79	1135.24	0.31	43.63	0.000	0.000
13	2082.29	30.17	1046.36	0.30	43.63	0.000	0.000
14	2057.71	27.61	953.56	0.29	43.63	0.000	0.000
15	2048.20	25.11	869.08	0.28	43.63	0.000	0.000
16	2410.38	22.66	928.54	0.28	43.63	0.000	0.000
17	2777.12	20.25	961.26	0.27	43.63	0.000	0.000
18	2837.25	17.88	871.16	0.27	43.63	0.000	0.000
19	2826.93	15.54	757.49	0.27	43.63	0.000	0.000
20	2372.86	13.23	543.07	0.26	43.63	0.000	0.000
21	1813.36	10.94	344.14	0.26	43.63	0.000	0.000
22	1253.83	8.67	188.94	0.26	43.63	0.000	0.000
23	705.49	6.41	78.74	0.26	43.63	0.000	0.000
24	264.56	4.16	19.18	0.26	43.63	0.000	0.000
25	81.64	1.92	2.73	0.26	43.63	0.000	0.000

ΣW_i= 45272.99 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 23560.95 [kg]
$\Sigma W_i \cos\alpha_i \tan\phi_i$= 33026.99 [kg]
$\Sigma c_i b_i / \cos\alpha_i$= 0.00 [kg]

COMBINAZIONE n° 10

Valore della spinta statica	5571.14	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	5274.35	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	1794.12	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.21	[m]	Y = -2.06	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	24.47	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	49.74	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	4.44	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.83	[m]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	5274.35	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	16971.52	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	16971.52	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	5274.35	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.17	[m]
Risultante in fondazione	17772.20	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	17.26	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	2824.65	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	57921.01	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1.80	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1.4651	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.4198	[kg/cmq]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	2.12
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	3.41

SEZIONE 23

Questa verifica si riferisce al muro di sostegno della strada di dimensioni più elevate. Esso risulta direttamente ancorato in roccia. La struttura è caricata come segue: condizione 1 (accidentale) autobettoniera pari a 2000 kg/mq; condizione 2 (permanente) guardrail pari a 100 kg/m.

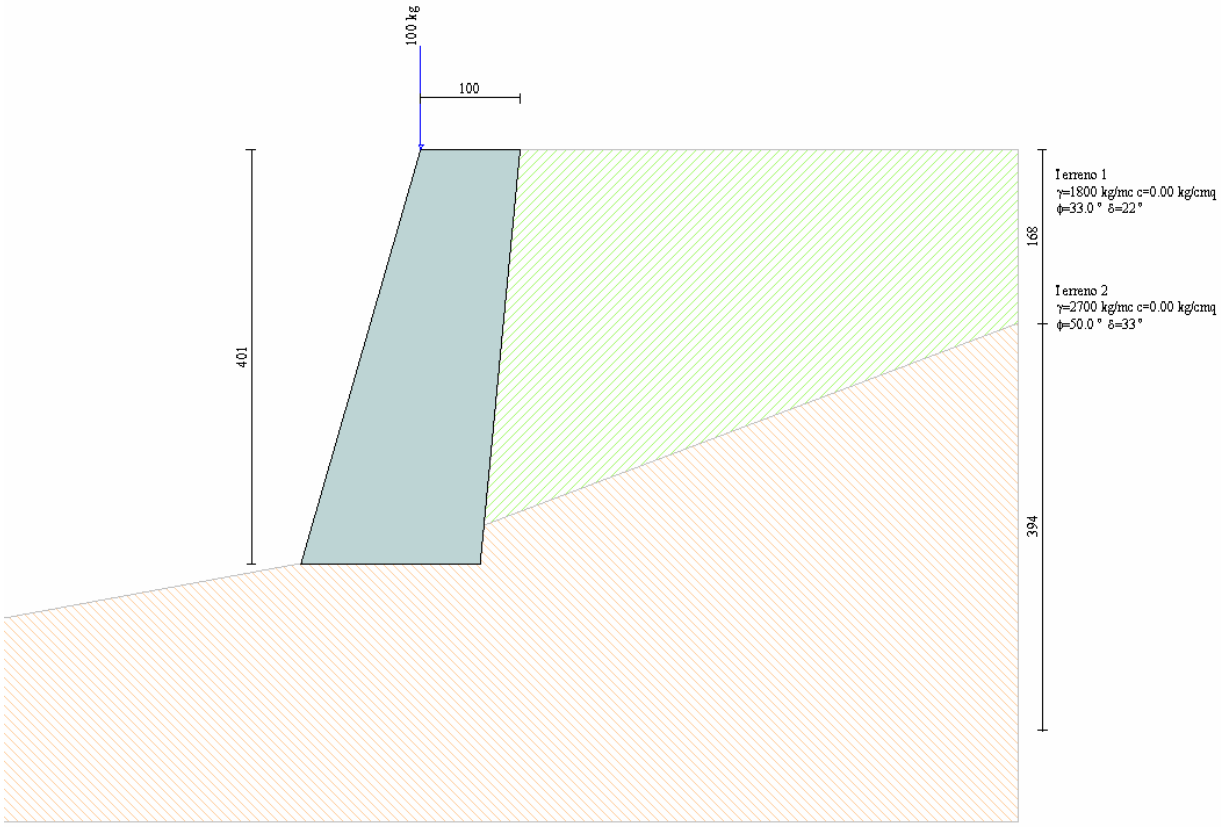
Geometria muro e fondazione

Descrizione	**Muro a gravità in pietrame**
Altezza del paramento	4.00 [m]
Spessore in sommità	1.00 [m]
Spessore all'attacco con la fondazione	1.80 [m]
Inclinazione paramento esterno	16.70 [°]
Inclinazione paramento interno	-5.70 [°]
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Fondazione

Lunghezza mensola fondazione di valle	0.00 [m]
Lunghezza mensola fondazione di monte	0.00 [m]

Lunghezza totale fondazione	1.80 [m]
Inclinazione piano di posa della fondazione	0.00 [°]
Spessore fondazione	0.01 [m]
Spessore magrone	0.00 [m]



Materiali utilizzati per la struttura

Pietrame

Peso specifico	2700.0 [kg/mc]
Tensione ammissibile a compressione σ_c	30.0 [kg/cmq]
Angolo di attrito interno ϕ_p	45.00 [°]
Resistenza a taglio τ_p	0.0 [kg/cmq]

Geometria profilo terreno a monte del muro

Simbologia adottata e sistema di riferimento
(Sistema di riferimento con origine in testa al muro, 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 [°]

N	X	Y	A
1	5.00	0.00	0.00

Terreno a valle del muro

Inclinazione terreno a valle del muro rispetto all'orizzontale 10.00 [°]
Altezza del rinterro rispetto all'attacco fondaz.valle-paramento 0.00 [m]

Descrizione terreni

Simbologia adottata
Nr. Indice del terreno
Descrizione Descrizione terreno
γ Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_s Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ Angolo d'attrito interno espresso in [°]
δ Angolo d'attrito terra-muro espresso in [°]
c Coesione espressa in [kg/cmq]
c_a Adesione terra-muro espressa in [kg/cmq]
σ_{amm} Tensione ammissibile espressa in [kg/cmq]

Descrizione	**γ**	**γ_s**	**ϕ**	**δ**	**c**	**c_a**	**σ_{amm}**
Terreno 1	1800	2000	33.00	22.00	0.000	0.000	1.50
Terreno 2	2700	2700	50.00	33.33	0.000	0.000	5.00

Stratigrafia

Simbologia adottata

N Indice dello strato
H Spessore dello strato espresso in [m]
a Inclinazione espressa in [°]
Kw Costante di Winkler orizzontale espressa in Kg/cm^2/cm
Ks Coefficiente di spinta
Terreno Terreno dello strato

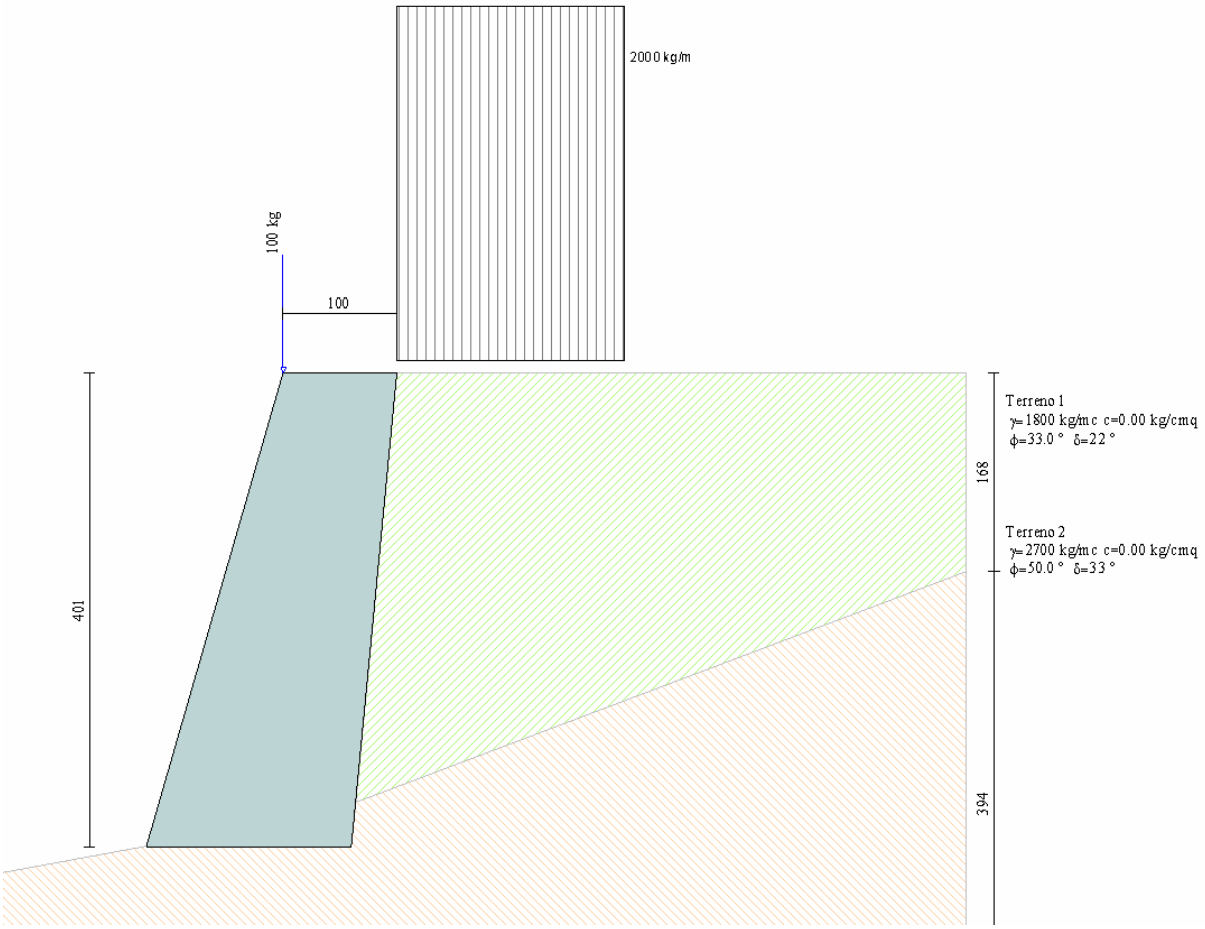
Nr.	**H**	**a**	**Kw**	**Ks**	**Terreno**
1	3.50	20.00	0.00	0.00	Terreno 1
2	3.00	10.00	32.61	0.00	Terreno 2

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate
Carichi verticali positivi verso il basso.
Carichi orizzontali positivi verso sinistra.
Momento positivo senso antiorario.
X Ascissa del punto di applicazione del carico concentrato espressa in [m]
F_x Componente orizzontale del carico concentrato espressa in [kg]
F_y Componente verticale del carico concentrato espressa in [kg]
M Momento espresso in [kgm]
X_i Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in [m]
X_f Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in [m]
Q_i Intensità del carico per x=X_i espressa in [kg/m]
Q_f Intensità del carico per x=X_f espressa in [kg/m]
D / C Tipo carico : D=distribuito C=concentrato

Condizione n° 1 (Condizione 1)
D Profilo **X_i**=0.00 **X_f**=2.00 **Q_i**=2000.00 **Q_f**=2000.00

Condizione n° 2 (Condizione 2)
C Paramento **X**=-1.00 **Y**=0.00 **F_x**=0.00 **F_y**=100.00 **M**=0.00



Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ	Coefficiente di partecipazione della condizione
Ψ	Coefficiente di combinazione della condizione
C	Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU (Approccio 2)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	1.30	1.00	1.30
Condizione 2	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 2 EQU

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10
Condizione 2	1.10	1.00	1.10

Combinazione n° 3 STAB

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU (Approccio 2)

	γ	Ψ	C

Peso proprio	1.30	1.00	1.30
Spinta terreno	1.30	1.00	1.30
Condizione 2	1.30	1.00	1.30
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 5 EQU

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.10	1.00	1.10
Spinta terreno	1.10	1.00	1.10
Condizione 2	1.10	1.00	1.10
Condizione 1	1.50	1.00	1.50

Combinazione n° 6 STAB

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.30	1.00	1.30

Combinazione n° 7 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 EQU - Sisma Vert. positivo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 EQU - Sisma Vert. negativo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 11 STAB - Sisma Vert. positivo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 12 STAB - Sisma Vert. negativo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 13 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. positivo

	γ	**Ψ**	**C**
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 14 SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 15 EQU - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 16 EQU - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 17 STAB - Sisma Vert. positivo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 18 STAB - Sisma Vert. negativo

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 19 SLE (Quasi Permanente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	0.20	0.20

Combinazione n° 20 SLE (Frequente)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	0.50	0.50

Combinazione n° 21 SLE (Rara)

	γ	Ψ	C
Peso proprio	1.00	1.00	1.00
Spinta terreno	1.00	1.00	1.00
Condizione 2	1.00	1.00	1.00
Condizione 1	1.00	1.00	1.00

Impostazioni di analisi

Impostazioni avanzate

Diagramma correttivo per eccentricità negativa con aliquota di parzializzazione pari a 0.00

Quadro riassuntivo coeff. di sicurezza calcolati

Simbologia adottata
C Identificativo della combinazione
Tipo Tipo combinazione
Sisma Combinazione sismica
CS_{SCO} Coeff. di sicurezza allo scorrimento
CS_{RIB} Coeff. di sicurezza al ribaltamento
CS_{QLIM} Coeff. di sicurezza a carico limite
CS_{STAB} Coeff. di sicurezza a stabilità globale

C	Tipo	Sisma	cs_{sco}	cs_{rib}	cs_{qlim}	cs_{stab}
1	A1-M1 - [1]	--	3.05	--	6.05	--
2	EQU - [1]	--	--	3.56	--	--
3	STAB - [1]	--	--	--	--	1.52
4	A1-M1 - [2]	--	1.90	--	4.61	--
5	EQU - [2]	--	--	1.78	--	--
6	STAB - [2]	--	--	--	--	1.29
7	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	3.87	--	5.33	--
8	A1-M1 - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	3.87	--	5.34	--
9	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	3.86	--	--
10	EQU - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	3.85	--	--
11	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.52
12	STAB - [3]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.52
13	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	2.52	--	6.68	--
14	A1-M1 - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	2.52	--	6.68	--
15	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	2.21	--	--
16	EQU - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	2.21	--	--
17	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale positivo	--	--	--	1.33
18	STAB - [4]	Orizzontale + Verticale negativo	--	--	--	1.33
19	SLEQ - [1]	--	3.51	--	4.11	--
20	SLEF - [1]	--	3.06	--	4.71	--
21	SLER - [1]	--	2.53	--	4.80	--

Analisi della spinta e verifiche

Sistema di riferimento adottato per le coordinate :
Origine in testa al muro (spigolo di monte)
Ascisse X (espresse in [m]) positive verso monte
Ordinate Y (espresse in [m]) positive verso l'alto
Le forze orizzontali sono considerate positive se agenti da monte verso valle
Le forze verticali sono considerate positive se agenti dall'alto verso il basso

Calcolo riferito ad 1 metro di muro

Tipo di analisi

Calcolo della spinta	metodo di Culmann
Calcolo del carico limite	metodo di Meyerhof
Calcolo della stabilità globale	metodo di Fellenius
Calcolo della spinta in condizioni di	Spinta attiva

Sisma

Accelerazione al suolo a_g =	0.03 [m/s^2]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.50
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.20
Coefficiente riduzione (β_m)	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 0.08$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.04$
Forma diagramma incremento sismico	Stessa forma diagramma statico

Partecipazione spinta passiva (percento)	0.0
Lunghezza del muro	10.00 [m]

Peso muro	15172.97 [kg]			
Baricentro del muro	X=-0.94 Y=-2.20			

Superficie di spinta

Punto inferiore superficie di spinta	X = -0.40		Y = -4.01	
Punto superiore superficie di spinta	X = 0.00		Y = 0.00	
Altezza della superficie di spinta	4.01	[m]		
Inclinazione superficie di spinta(rispetto alla verticale)	-5.69	[°]		

COMBINAZIONE n° 4

Valore della spinta statica	6217.04	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	5939.31	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	1837.44	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.22	[m]	Y = -2.23	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	22.88	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	58.74	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	5.09	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.76	[m]

Risultanti carichi esterni

Componente dir. Y	130	[kg]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	5939.31	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	17145.49	[kg]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	17145.49	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	5939.31	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.18	[m]
Risultante in fondazione	18145.06	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	19.11	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	3060.08	[kgm]
Carico ultimo della fondazione	79049.09	[kg]

Tensioni sul terreno

Lunghezza fondazione reagente	1.80	[m]
Tensione terreno allo spigolo di valle	1.5183	[kg/cmq]
Tensione terreno allo spigolo di monte	0.3859	[kg/cmq]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	1.90
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	4.61

COMBINAZIONE n° 5

Valore della spinta statica	7159.11	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	6975.59	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	1610.59	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.22	[m]	Y = -2.20	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	18.69	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	58.40	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	4.30	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.76	[m]

Risultanti carichi esterni

Componente dir. Y	110	[kg]

Risultanti

Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	6975.59	[kg]
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	16897.86	[kg]

Momento ribaltante rispetto allo spigolo a valle	12632.83	[kgm]
Momento stabilizzante rispetto allo spigolo a valle	22463.63	[kgm]
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	16897.86	[kg]
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	6975.59	[kg]
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	0.32	[m]
Risultante in fondazione	18281.04	[kg]
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	22.43	[°]
Momento rispetto al baricentro della fondazione	5384.08	[kgm]

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a ribaltamento 1.78

Stabilità globale muro + terreno

Combinazione n° 6

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
Origine in testa al muro (spigolo contro terra)

W peso della striscia espresso in [kg]
α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso in [°] (positivo antiorario)
ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
b larghezza della striscia espressa in [m]
u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]

Metodo di Fellenius
Numero di cerchi analizzati 36
Numero di strisce 25

Cerchio critico
Coordinate del centro X[m]= -2.74 Y[m]= 0.00
Raggio del cerchio R[m]= 4.64
Ascissa a valle del cerchio Xi[m]= -4.32
Ascissa a monte del cerchio Xs[m]= 1.90
Larghezza della striscia dx[m]= 0.25
Coefficiente di sicurezza C= 1.29
Le strisce sono numerate da monte verso valle

Caratteristiche delle strisce

Striscia	W	α(°)	Wsinα	b/cosα	ϕ	c	u
1	983.20	80.58	969.93	1.52	27.45	0.000	0.000
2	1451.76	67.18	1338.18	0.64	27.45	0.000	0.000
3	1681.45	60.13	1458.13	0.50	27.45	0.000	0.000
4	1856.49	54.41	1509.62	0.43	27.45	0.000	0.000
5	1999.48	49.40	1518.22	0.38	27.45	0.000	0.000
6	2122.69	44.87	1497.65	0.35	33.69	0.000	0.000
7	2250.93	40.68	1467.18	0.33	43.63	0.000	0.000
8	2171.21	36.73	1298.62	0.31	43.63	0.000	0.000
9	2249.96	32.99	1224.93	0.30	43.63	0.000	0.000
10	2693.32	29.39	1321.74	0.29	43.63	0.000	0.000
11	2771.84	25.92	1211.51	0.28	43.63	0.000	0.000
12	2894.19	22.55	1109.68	0.27	43.63	0.000	0.000
13	2407.37	19.25	793.85	0.26	43.63	0.000	0.000
14	1889.99	16.03	521.83	0.26	43.63	0.000	0.000
15	1367.68	12.85	304.24	0.26	43.63	0.000	0.000
16	843.73	9.72	142.42	0.25	43.63	0.000	0.000
17	396.90	6.61	45.70	0.25	43.63	0.000	0.000
18	316.47	3.53	19.46	0.25	43.63	0.000	0.000
19	282.31	0.45	2.22	0.25	43.63	0.000	0.000
20	239.17	-2.63	-10.95	0.25	43.63	0.000	0.000
21	197.68	-5.71	-19.66	0.25	27.45	0.000	0.000

22	163.69	-8.81	-25.06	0.25	27.45	0.000	0.000
23	123.59	-11.93	-25.55	0.25	27.45	0.000	0.000
24	77.10	-15.09	-20.08	0.26	27.45	0.000	0.000
25	23.94	-18.30	-7.52	0.26	27.45	0.000	0.000

ΣW_i= 33456.14 [kg]
$\Sigma W_i \sin\alpha_i$= 17646.26 [kg]
$\Sigma W_i \cos\alpha_i \tan\phi_i$= 22736.14 [kg]
$\Sigma c_i b_i / \cos\alpha_i$= 0.00 [kg]

COMBINAZIONE n° 19

Valore della spinta statica	3183.26	[kg]		
Componente orizzontale della spinta statica	3037.86	[kg]		
Componente verticale della spinta statica	951.08	[kg]		
Punto d'applicazione della spinta	X = -0.24	[m]	Y = -2.43	[m]
Inclinaz. della spinta rispetto alla normale alla superficie	23.07	[°]		
Inclinazione linea di rottura in condizioni statiche	58.68	[°]		
Peso terrapieno gravante sulla fondazione a monte	3.91	[kg]		
Baricentro terrapieno gravante sulla fondazione a monte	X = -0.28	[m]	Y = -2.76	[m]
Risultanti carichi esterni				
Componente dir. Y	100	[kg]		
Risultanti				
Risultante dei carichi applicati in dir. orizzontale	3037.86	[kg]		
Risultante dei carichi applicati in dir. verticale	16227.96	[kg]		
Sforzo normale sul piano di posa della fondazione	16227.96	[kg]		
Sforzo tangenziale sul piano di posa della fondazione	3037.86	[kg]		
Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione	-0.10	[m]		
Risultante in fondazione	16509.85	[kg]		
Inclinazione della risultante (rispetto alla normale)	10.60	[°]		
Momento rispetto al baricentro della fondazione	-1697.18	[kgm]		
Carico ultimo della fondazione	66772.76	[kg]		
Tensioni sul terreno				
Lunghezza fondazione reagente	1.80	[m]		
Tensione terreno allo spigolo di valle	0.5871	[kg/cmq]		
Tensione terreno allo spigolo di monte	1.2152	[kg/cmq]		

COEFFICIENTI DI SICUREZZA

Coefficiente di sicurezza a scorrimento	3.51
Coefficiente di sicurezza a carico ultimo	4.11

QUADRO ECONOMICO

Per la stima dei lavori è stato utilizzato l'Elenco Prezzi Opere Pubbliche della Regione Piemonte aggiornato anno 2008. Sono state elaborate nuove voci, i cui prezzi sono stati ricavati con idonea analisi, per opere o prestazioni che non hanno trovato riscontro nel suddetto prezzario.

La somma disponibile per la realizzazione del tratto stradale corrispondente al 2° stralcio ammonta a 135.000,00 € così ripartiti:

- Sommano per lavori 91.284,76 €

i prezzi valutati in progetto comprendono
gli oneri della sicurezza – non soggetti a ribasso –
che ammontano complessivamente a 1.825,70 €

- I.V.A. sui lavori 10% 9.128,48 €
- Spese tecniche (comprese pratiche D.lgs 81/08 e svincolo ambientale) a) 13.920,27 €
- C.N.P.A.I.A b) 278,41 €
- I.V.A. 20% su a+b 2.839,74 €
- Percentuale prevista dall'art.92, comma 5, del codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture, di cui al decreto legislativo 12/04/2006, n.163, e s.m.i., destinata per finalità delle medesime disposizioni e per quelle previste dall'art.18, comma 4-sexies della legge 28/01/2009, n.2, secondo le misure ivi indicate 456,42 €
- Somma a disposizione per espropri, indennizzi, atti, frazionamenti, ecc 17.091,92 €

- TOTALE GENERALE **135.000,00 €**