



"RI-CENTRO Ponte dei Pozzi" nel Comune di Rieti (RI), finanziato con fondi PNRR – M5C2 – Misura 2.3. CUP F13D21005300006 – CIG A002574915

RELAZIONE GEOTECNICA

TAV.:
2.STR.08.RE.C

SCALA:
-

DATA:
Dic.2023

COMMITTENTE:

COMUNE DI RIETI



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Arch. Stefano Spadoni

PROGETTISTA COORDINATORE:

GEOM. ROSATI PIER LUIGI

PROGETTISTI:

ING. MANCINI BRUNO ENRICO

ING. MANCINI MASSIMILIANO

ARCH. DI GIUSEPPE LORENZO

ING. MICCIONI RICCARDO

ING. ROSATI DOMENICO

COLLABORATORI:

ING. ROSATI FRANCESCO

CARLONE SILVIA

RELAZIONE GEOTECNICA SULLE FONDAZIONI

(NTC 2018 CAP. 6 e CIRCOLARE 7/2019 punto C6.2.2.5)

INDICE

GENERALITA'	2
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	3
RISULTATI PRINCIPALI DELLE INDAGINI E PROVE	4
DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI	5
CLASSE D'USO DELL'OPERA (NTC 18 - p. 2.4.2)	8
Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche	12
Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi:	13
Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite	13
Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.	14
STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (p. 7.11.3.4)	15
FONDAZIONI : R E L A Z I O N E G E O T E C N I C A.....	16
VERIFICA MICROPALI.....	17
VERIFICA TERRE RINFORZATE	18

GENERALITA'

In ottemperanza al D.M. 17/01/2018 Cap. 6 e 7.11 , il sottoscritto progettista illustra nella presente RELAZIONE GEOTECNICA le scelte progettuali, il programma ed il risultato delle indagini eseguite, la modellazione e la caratterizzazione geotecnica , unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere ed alla descrizione delle fasi e delle modalità costruttive.

OGGETTO: PASSERELLA CICLO-PEDONALE IN ACCIAIO

COMUNE: Rieti

ZONA SISMICA: 2b

ALTITUDINE: 400 s.l.m. (Zona neve 2)

TIPOLOGIA STRUTTURALE: ACCIAIO

TIPOLOGIA FONDAZIONI: MICROPALI

NORMATIVA: D.M. 17/01/2018

RELAZIONE GEOLOGICA : Dott. Geologo Roberto Seri

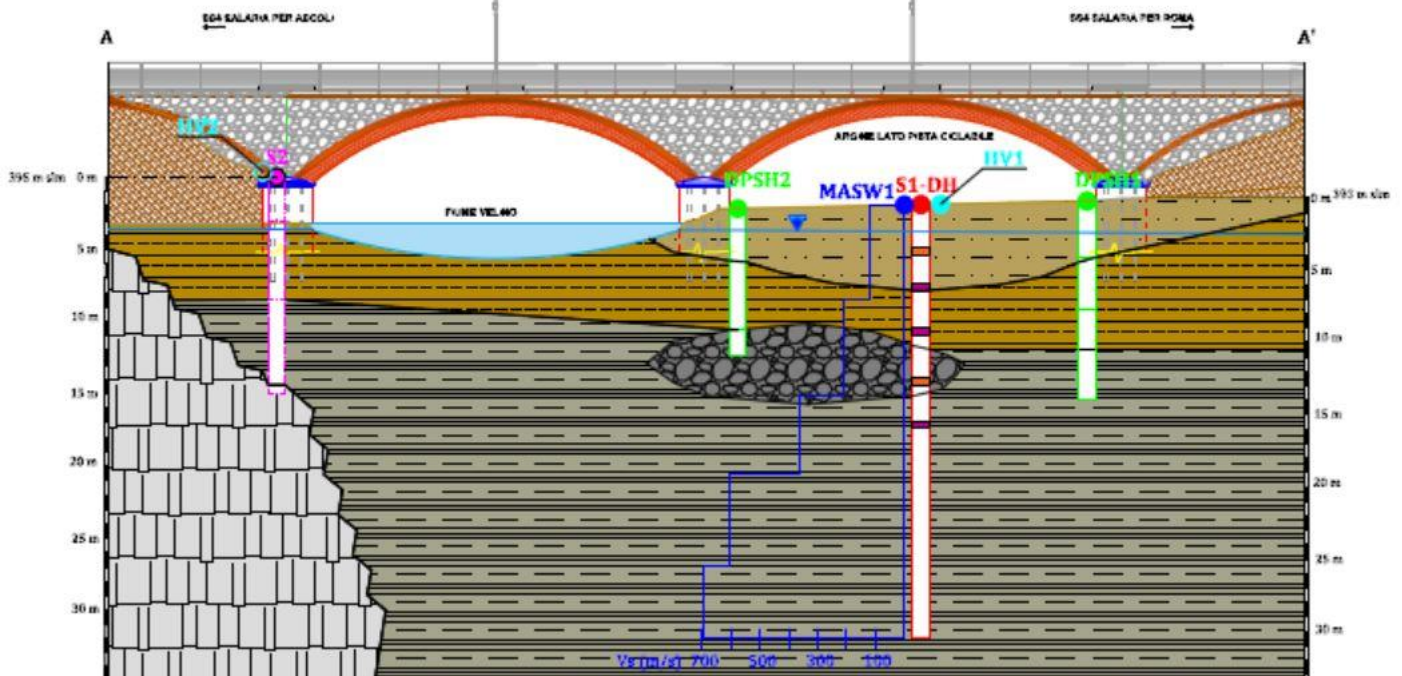
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito sono riportate nella RELAZIONE GEOLOGICA dello Studio del **Dott. Geologo Roberto Seri**

allegata al progetto e che si intende qui richiamata e riportata per estratto.

Il modello geotecnico si assume coincidente con quello geologico al di sotto di ogni struttura di fondazione, poiché queste sono tra loro separate/singole e quindi a comportamento dipendente dalle caratteristiche geotecniche del sottosuolo direttamente interessato ed eventualmente diverso tra l'una e l'altra.

PROSPETTO PONTE CAVALLOTTI post operam



-  TERRENO DI RIPORTO
-  SABBIE LIMOSE DEBOLMENTE ARGILLOSE E GHIAIOSE
 $\phi = 38^\circ$, $c = 0$ kPa, $\gamma_n = 21.67$ kN/m³
 Moduli edometrici:
 2791 kPa (σ 0-49), 5298 kPa (σ 49-98)
 8521 kPa (σ 98-196), 12413 (σ 196-392)
 19223 kPa (σ 392-784), 27818 kPa (σ 784-1568)
-  ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI E SABBIE CON LIMI DEBOLMENTE ARGILLOSE
 $\phi = 37^\circ$, $c = 0$ kPa, $\gamma_n = 20.55$ kN/m³
-  GHIAIE IN MATRICE SABBIOSA GROSSOLANA
 $\phi = 30.2^\circ$, $c = 0$ kPa, $\gamma_n = 16.8$ kN/m³
-  ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI E ARGILLA DEBOLMENTE LIMOSA
 $\phi = 29^\circ$, $c = 2$ kPa, $\gamma_n = 19.98$ kN/m³
-  TRAVERTINO LITOIDE

RISULTATI PRINCIPALI DELLE INDAGINI E PROVE

La sezione identifica 4 unità litotecniche costituite, a partire da piano campagna, dai seguenti terreni:

		γ t/m ³	ϕ °	Cu daN/cm ²	Cu daN/cm ²	E daN/cm ²	Ed daN/cm ²
Livello 1	Dal p.c. a -3,5 m circa SABBIE LIMOSE DEB. ARGILLOSE E GHIAIOSE	2,17	38	0	0	100	150
Livello 2	Da -3,5 m circa a -8,5 m circa ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI E SABBIE CON LIMI DEBOLMENTE ARGILLOSE	2,05	37	0	0	100	150
Livello 3	Da -8,5 m circa a -12,5 m circa GHIAIE IN MATRICE SABBIOSA GROSSOLANA	1,68	30	0	0	50	100
Livello 4	Da -12,5 m circa in poi ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI	1,99	29	0	0,02	50	100

La falda acquifera è stata riscontrata a circa -1,5 m dal P.C.

Categoria topografica: T1

DESCRIZIONE DELL'OPERA E DEGLI INTERVENTI

Trattasi della realizzazione di una pista ciclopedonale con allargamento, solo lungo il lato di valle, della piattaforma del ponte esistente, denominato Ponte Cavallotti, sito nel comune di Rieti, Provincia della Regione Lazio, ad una quota di circa 395 m s.l.m., in zona sismica 2B.

Ponte Cavallotti, fu costruito all'inizio del Novecento, lungo il tracciato della strada statale S.S. n. 4 "Via Salaria" di cui è stata parte fino agli anni '90 quando, realizzato il nuovo tracciato della S.S.n°4, la tratta urbana della statale è divenuta tratta Comunale.

Il ponte è realizzato in muratura ed è costituito da due arcate in mattoni, ognuna con una luce di circa 22 m, e supera il Fiume Velino con una luce tra spalla e spalla di circa m. La pila centrale e le 2 spalle sono in pietra squadrata come i timpani sopra le armille delle arcate.

La piattaforma aggetta con due marciapiedi in c.a. a sbalzo di circa 80 cm, sui quali sono stati posizionati i parapetti realizzati con mattoni pieni riquadrati in campi da pilastri in c.a. ogni 2 m, e da un cordolo in sommità, a circa 1 m, alto circa 30cm.

Le rampe che portano alle spalle del ponte sono in realizzate con rilevati in terra, ai quali sono addossati i muri andatori delle spalle del ponte.

Sia sul lato a valle che a monte, ancorati alla struttura esistente, sono presenti diverse linee di acquedotto comunale.

Lo stato di conservazione della struttura è buono per quanto concerne le arcate, i muri di timpano e delle spalle, ma i parapetti risultano in uno stadio di degrado avanzato e lo stesso vale per gli sbalzi dei marciapiedi.



Vecchio percorso della Via Salaria a Rieti

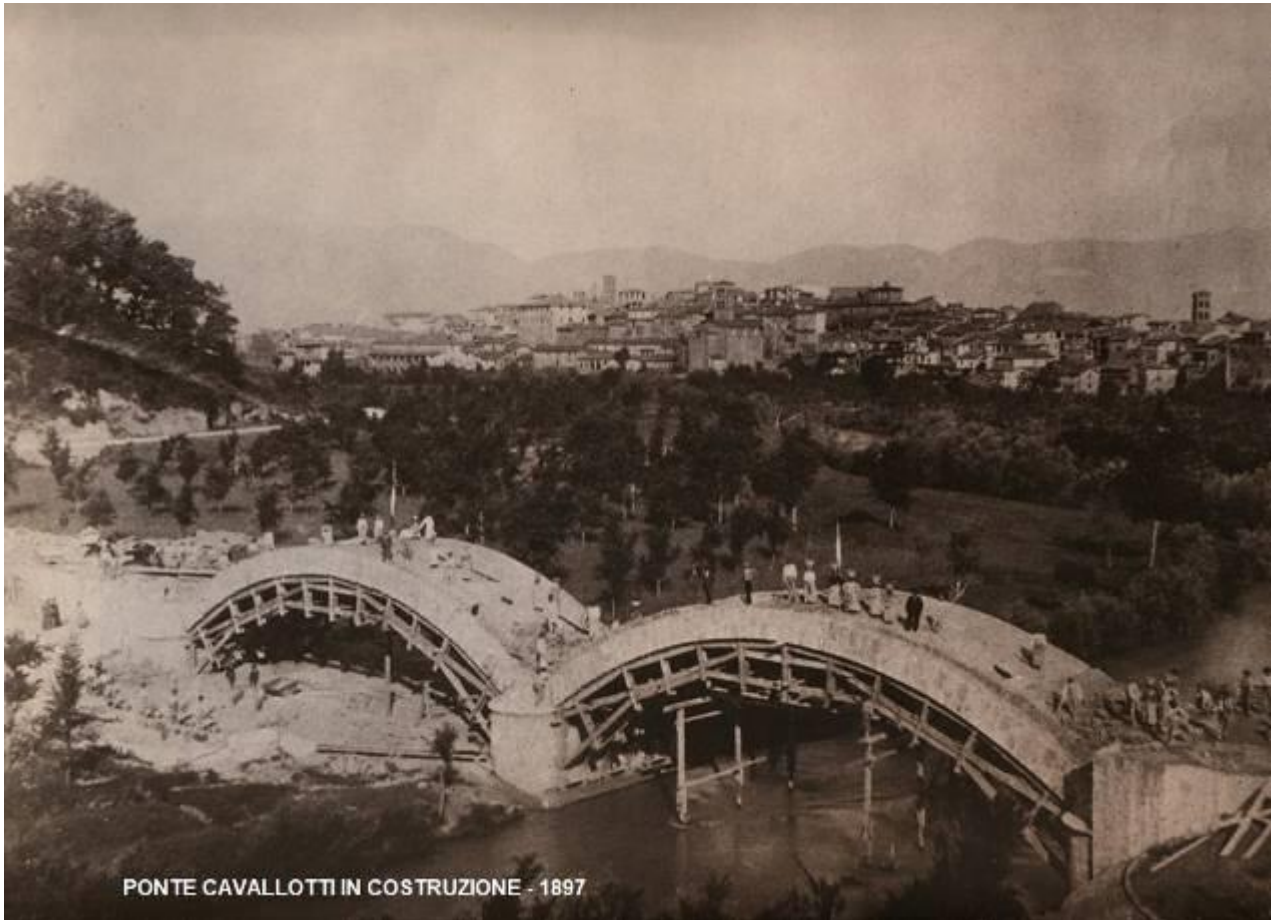
Alessandro Antonelli - Opera propria

Il vecchio tracciato seguito dalla Strada Statale Italiana n. 4 Via Salaria nella città di Rieti costruito nel 1930 e rimasto in funzione fino al 2003

CC BY 3.0

File: Percorso della Via Salaria 2003).svg

Creato: 20 aprile 2016



PONTE CAVALLOTTI IN COSTRUZIONE - 1897



PONTE CAVALLOTTI - 2022

La nuova pista ciclopedonale, prevista in acciaio, sarà realizzata su parte del rilevato esistente ed in parte sull'arcata in acciaio che supporta la passerella pedonale nelle parti a sbalzo.

A lato dei rilevati di accesso al ponte la passerella ciclopedonale corre su archi contenuti nel piano verticale anziché in un piano inclinato di 22°, come i 2 archi frontistanti le arcate che scavalcano il fiume Velino.

Per ragioni architettoniche tali archi verticali saranno realizzati delle stesse dimensioni di quelli inclinati e, mancando le sollecitazioni dovute all'inclinazione del piano dove si sviluppano, sono in evidenti migliori condizioni di stabilità e la verifica risulta pertanto ovvia.

La struttura a vista sarà realizzata in acciaio con trattamento Cor-Ten.

La pavimentazione per la rampa di raccordo a Ponte Cavallotti sarà realizzata con una pavimentazione ad alta resistenza meccanica effetto legno.

I parapetti saranno realizzati in acciaio Inox.

Il secondo tratto oggetto di intervento verrà realizzato con l'ausilio delle terre rinforzate, tramite innestamento di una nuova parte in rilevato realizzato con materiali idonei.

La pavimentazione in questo caso sarà realizzata con masselli autobloccanti su soletta in c.l.s. Armato.

L'intervento in progetto non comporta un sostanziale aumento delle masse "permanenti" e "portate", ne aumenta in maniera considerevole le sollecitazioni sulle strutture "principali" "sismo-resistenti", e realizza "elementi costruttivi non strutturali" o "elementi strutturali secondari" con nuovi materiali.

Per questi motivi gli interventi sono classificabili come "INTERVENTI LOCALI". Infatti, come richiedono le Norme NTC2018 al punto 8.4.1. "RIPARAZIONE O INTERVENTO LOCALE" "*rispetto alla configurazione precedente quindi non vengono prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e gli interventi non comportano una riduzione dei livelli di sicurezza preesistenti*".

Le conclusioni precedenti circa la parete vetrata e il controsoffitto trovano ulteriore riscontro nelle valutazioni richiamate nel

punto 8.3. "VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA" del D.M. 17 gennaio 2018 (NTC18) che recita testualmente:

"Qualora sia necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione, la verifica del sistema di fondazione è obbligatoria solo se sussistono condizioni che possano dare luogo a fenomeni di instabilità globale o se si verifica una delle seguenti condizioni:

- nella costruzione siano presenti importanti dissesti attribuibili a cedimenti delle fondazioni o dissesti della stessa natura si siano prodotti nel passato;*
- siano possibili fenomeni di ribaltamento e/o scorrimento della costruzione per effetto: di condizioni morfologiche sfavorevoli, di modificazioni apportate al profilo del terreno in prossimità delle fondazioni, delle azioni sismiche di progetto;*
- siano possibili fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione dovuti alle azioni sismiche di progetto.*

Allo scopo di verificare la sussistenza delle predette condizioni, si farà riferimento alla documentazione disponibile e si potrà omettere di svolgere indagini specifiche solo qualora, a giudizio esplicitamente motivato del professionista incaricato, sul volume di terreno

significativo e sulle fondazioni sussistano elementi di conoscenza sufficienti per effettuare le valutazioni precedenti.”

PER LA STRUTTURA ESISTENTE IN OGGETTO NON SUSSISTE ALCUNA DELLE CONDIZIONI ELENcate PER LE QUALI è *necessario effettuare la valutazione della sicurezza della costruzione*, PER CUI LA VERIFICA DEL SISTEMA DI FONDAZIONE NON È STATA EFFETTUATA.

CLASSE D'USO DELL'OPERA (NTC 18 - p. 2.4.2)

La **NORMATIVA TECNICA ATTUALMENTE VIGENTE, DM 17.1.2018 (NTC2018)**, al punto 2.4.2 individua **4 classi d'uso delle costruzioni**:

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

La NORMA TIVA REGIONALE, Deliberazione 23 luglio 2019, n. 493 con l'allegato A sostituito da quello della DGR 793/2020, **provvede ad indicare quali costruzioni appartengono alla classe IV (STRATEGICHE) e III (RILEVANTI) e, per esclusione, anche quelle della I^a e della II^a.**

Si riporta di seguito l'Allegato A alla DGR 793/2020:

Elenco delle strutture in Classe d'uso IV (Strategiche) e in Classe d'uso III (Rilevanti)

A. CLASSE D'USO IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di evento sismico come, in particolare, di seguito indicate:

- **Strutture Ospedaliere ***
 1. Ospedali, Case di Cura, Cliniche, Ambulatori ospedalieri, Istituti di ricovero e cura a carattere Scientifico, Aziende Unità Sanitarie Locali;
- **Strutture per l'istruzione, comprese le palestre scolastiche, inserite nei Piani di Emergenza di Protezione Civile comunali che possono ospitare funzioni strategiche (centro coordinamento soccorsi (CCS); centro operativo misto (COM); centro operativo comunale (COC), eccetera;**
- **Strutture Civili ***
 1. Sedi degli uffici statali, regionali e provinciali, solo relativamente a quelle che ospitano funzioni di comando, supervisione e controllo, sale operative, strutture ed impianti di trasmissione, banche dati, strutture di supporto logistico per il personale operativo, strutture adibite all'attività logistica di supporto alle operazioni di protezione civile (stoccaggio, movimentazione, trasporto), strutture per l'assistenza e l'informazione alla popolazione;
 2. Municipi e sedi comunali decentrate;
 3. Sedi degli uffici territoriali del Governo;
 4. Sedi della Protezione Civile e relative strutture adibite all'attività di Protezione Civile;
 5. Ambasciate, Consolati, Legazioni, Istituti culturali, Organismi internazionali;
 6. Uffici Giudiziari e Carceri.
- **Strutture Militari ***
 1. Caserme delle Forze Armate, dei Carabinieri, del Corpo Forestale dello Stato, della Guardia di Finanza, della Pubblica Sicurezza, dei Vigili del Fuoco.
- **Strutture Industriali**
 1. Industrie con attività di produzione di "sostanze pericolose per l'ambiente" (Decreto legislativo 26 giugno 2015, n.105 (Attuazione della direttiva 2012/18/UE relativa al controllo del pericolo di incidenti rilevanti connessi con sostanze pericolose) in cui può avvenire un incidente rilevante per evento sismico.
- **Infrastrutture**
 1. Centrali Elettriche ad Alta Tensione;
 2. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti ed a impianti di produzione di energia elettrica;
 3. Gallerie di reti viarie di tipo A o B, Ponti di reti viarie di tipo A o B e Viadotti di reti viarie di tipo A o B (Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade"), o di tipo C se appartenenti a itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non serviti da strade di tipo A o B;
 4. Gallerie di reti ferroviarie, Ponti di reti ferroviarie e Viadotti di reti ferroviarie;
 5. Impianti per le telecomunicazioni (radio, televisioni, ponti radio ecc.), con altezza maggiore o uguale a 15 metri non su fabbricati esistenti;
 6. Autostrade ed opere d'arte annesse;
 7. Grandi stazioni o Terminal ferroviari, stazioni o Terminal aeroportuali, eliporti e porti.

B. CLASSE D'USO III: Costruzioni rilevanti il cui uso preveda affollamenti significativi con riferimento a un eventuale collasso della struttura, come, in particolare, di seguito indicate:

- **Strutture per l'Istruzione ***

1. Asili nido, scuole ed istituti di istruzione, pubblici e privati, di ogni ordine e grado;
2. Università;
3. Conservatori statali, accademie di Belle Arti (statali e non statali), istituti musicali, Accademie statali di danza e di Arte, Istituti statali superiori per le industrie Artistiche;
4. Case famiglia e Strutture educative per i minori;
5. Uffici scolastici regionali.

- **Strutture civili ***

1. Sedi degli uffici statali, regionali e provinciali, destinati allo svolgimento di funzioni pubbliche nell'ambito dei quali siano normalmente presenti comunità di dimensioni significative, nonché edifici e strutture aperti al pubblico suscettibili di grande affollamento, il cui collasso può comportare gravi conseguenze in termini di perdite di vite umane e che non ricadono in classe d'uso IV;
2. Residenze Sanitarie Assistenziali;
3. Alberghi (art. 2, comma 1, lettera a) R.R. 17/2008 e successive modifiche), Ostelli per la Gioventù (art.5 R.R. 08/2015 e successive modifiche);
4. Attività Commerciali con cubatura ≥ 5000 metri cubi;
5. Stadi, Palazzi dello Sport, Palestre, Impianti per lo sport compresi i servizi di supporto per l'attività sportiva (spogliatoi, ecc.), e spazi per il pubblico (coperture e tribune di impianti sportivi, ecc.);
6. Auditorium, Biblioteche, Cinema, Edifici per mostre, Ludoteche, Musei, Pinacoteche e Teatri;
7. Banche, Centri Commerciali (art.4, comma 1, lettera g del d.lgs. 114/1998 e successive modifiche);
8. Mercati coperti;
9. Chiese, Campanili, Chiese cimiteriali ed Edifici di Culto non ricadenti nelle disposizioni di cui agli articoli 13, 14, 15 e 16 del Trattato Lateranense;
10. Obitori e camere mortuarie;
11. Centri polifunzionali;
12. Uffici postali;

- **Strutture Industriali***

1. Industrie con attività pericolose per l'ambiente non ricadenti nella Classe IV;

- **Infrastrutture**

1. Centrali Elettriche a Media Tensione, Centrali di cogenerazione, Impianti eolici, Termovalorizzatori;
2. Dighe non ricadenti nella Classe IV, ma comunque rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso;
3. Metropolitana e Stazioni della Metropolitana, Edifici delle Stazioni di autobus e tranviarie;
4. Gallerie di reti viarie, viadotti di reti viarie e ponti di reti viarie, ricadenti nel tipo C se non già indicato in Classe IV la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.

A tutte le costruzioni, opere e/o attività miste, si applica la classe d'uso della destinazione che assicura una maggiore sicurezza per la pubblica e privata incolumità di cose e persone.

* come unica unità strutturale o anche se inserito all'interno di edifici adibiti ad altra destinazione d'uso.

Il ponte Cavallotti dovrebbe essere di 2^a classe d'uso in quanto nel caso di un'eventuale interruzione dell'operatività o di collasso chi fugge dal centro storico può andare verso l'ospedale, il Terminillo ed Anrodoco e tutte le altre destinazioni con gli altri collegamenti viari e viceversa i soccorsi possono giungere dalle medesime direzioni avendo il Centro storico altri ponti ed accessi.

Quindi l'eventuale **INAGIBILITÀ** o crollo **NON** crea SITUAZIONI d'**EMERGENZA** nel qual caso andrebbe classificato in **classe d'uso III**

NON crea SITUAZIONI **CRITICHE** per il mantenimento delle vie di comunicazione nel qual caso andrebbe classificato in **classe d'uso IV**

Ad ogni buon fine delle valutazioni di sicurezza comunque si è dimensionata la passerella ciclopedonale per la CLASSE D'USO III^a.

Infatti in una fase di progettazione anche la Normativa raccomanda di applicare i concetti di "ROBUSTEZZA" e "RIDONDANZA" ed in questo caso, data la relativa "leggerezza" delle strutture e dei carichi il dimensionamento tra la classe IIa e la IIIa non comporta sostanziali differenze, anzi per lo più risultano essere contenute nell'utilizzare un Acciaio di classe appena superiore ,S 355, a quella minima necessaria, S 275, per la classe IIa che comportano un costo dell'acciaio molto contenuto, di pochi centesimi all'acquisto, mentre se ne ha un beneficio anche in termini di "DURABILITÀ".

Quindi si reputa di aver comunque rispettato il principio progettuale di una "saggia economia"

Peraltro questo consente di avere un intervento che, oltre ad essere a vantaggio evidente in termini di sicurezza e durabilità, lascia una più ampia possibilità di classificazione dell'opera nei PIANI DI PROTEZIONE CIVILE" ed in particolare nel caso di necessità di "miglioramento/adeguamento sismico" del ponte Cavallotti.

Le analisi dei modelli di calcolo e le verifiche delle sezioni degli elementi strutturali sono state eseguite con le modalità esplicitamente richiamate nel D.M. 17.01.2018, ed in particolare:

1. analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici;
2. analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica;
3. analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi;
4. verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di comportamento, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si fa riferimento al D.M. 17.01.18 ed alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 Gennaio 2019, n.7 la quale è stata utilizzata come norma di dettaglio.

Le verifiche sono state eseguite con analisi dinamica modale e la sicurezza e le prestazioni dell' opera nel suo complesso o delle parti di essa, come previsto al capitolo 2 del citato Decreto 17 gennaio 2018, sono state valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, applicando i criteri del metodo semiprobabilistico agli " Stati Limite ", per le verifiche di esercizio (SLE) e di rottura (SLU).

Le analisi dei modelli di calcolo e le verifiche delle sezioni degli elementi strutturali sono state eseguite con le modalità esplicitamente richiamate nel D.M. 17.01.2018, ed in particolare:

5. analisi elastica lineare per il calcolo delle sollecitazioni derivanti da carichi statici;
6. analisi dinamica modale con spettri di progetto per il calcolo delle sollecitazioni di progetto dovute all'azione sismica;
7. analisi degli effetti del 2° ordine quando significativi;
8. verifiche sezionali agli s.l.u. per le sezioni in c.a. utilizzando il legame parabola rettangolo per il calcestruzzo ed il legame elastoplastico incrudente a duttilità limitata per l'acciaio.

Per quanto riguarda le azioni sismiche ed in particolare per la determinazione del fattore di comportamento, dei dettagli costruttivi e le prestazioni sia agli SLU che allo SLD si fa riferimento al D.M. 17.01.18 ed alla circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 Gennaio 2019, n.7 la quale è stata utilizzata come norma di dettaglio.

Le verifiche sono state eseguite con analisi dinamica modale e la sicurezza e le prestazioni dell' opera nel suo complesso o delle parti di essa, come previsto al capitolo 2 del citato Decreto 17 gennaio 2018, sono state valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la sua vita nominale, applicando i criteri del metodo semiprobabilistico agli " Stati Limite ", per le verifiche di esercizio (SLE) e di rottura (SLU).

Descrizione del programma delle indagini e delle prove geotecniche

Sono stati eseguiti:

- N°1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S1) spinto fino alla profondità di -30.00 m e attrezzato a Down Hole;

-N°1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S2) spinto fino alla profondità di -15.00 m;

-N°4 prove penetrometriche dinamiche SPT in foro di sondaggio, di cui n°2 eseguite entro il foro di sondaggio S1 e n°2 eseguite entro il foro di sondaggio S2;

-N°4 campioni di terreno da sottoporre alle analisi di laboratorio geotecnico, di cui N°3 prelevati durante la perforazione del sondaggio geognostico S1 e N°1 prelevato durante la perforazione del sondaggio geognostico S2;

- N°2 prove geofisiche indirette MASW;
- N°2 misure di rumore sismico ambientale HVSR;
- N°1 prova geofisica diretta Down Hole.

Modelli geotecnici di sottosuolo e metodi di analisi:

Nel modello strutturale di calcolo l'interazione suolo-struttura è stata considerata schematizzando il terreno come un letto di molle elastiche indipendenti (modello alla Winkler).

Le interazioni terreno-struttura sono state contemplate nel modello di calcolo strutturale mediante elementi finiti specifici costituiti da travi su suolo elastico.

I risultati di analisi sono riportati nelle relazioni di calcolo della struttura .

Quest'ultima riporta i risultati della verifica ed il calcolo delle sollecitazioni ed armature di un modello globale che comprende la struttura in elevazione e riassunti, mediante immagini o valori numerici finali, nelle pagine seguenti.

Verifiche della sicurezza e delle prestazioni: identificazione dei relativi stati limite

Le verifiche della sicurezza in fondazione sono condotte nei riguardi dello stato limite ultimo e dello stato limite di esercizio.

Le verifiche nei riguardi dello stato limite ultimo (SLU) previste dalla Normativa sono:

EQU -perdita di equilibrio della struttura, del terreno o dell'insieme terreno-struttura, considerati come corpi rigidi; **STR** -raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, compresi gli elementi di fondazione; **GEO** – raggiungimento della resistenza del terreno interagente con la struttura con sviluppo di meccanismi di collasso dell'insieme terreno-struttura; **ULP** – perdita di equilibrio della struttura o del terreno, dovuta alla sottospinta dell'acqua (galleggiamento); **HYD** - erosione e sifonamento del terreno dovuta a gradienti idraulici.

Verifiche EQU:

L'edificio è soggetto ad azioni di tipo verticale e di tipo orizzontale.

Come si evince dall'esame dei diagrammi delle pressioni sul terreno di fondazione, riportati nelle relazioni di calcolo, le pressioni sono tutte di compressione,.

Pertanto essendo le pressioni di compressione sicuramente non si hanno fenomeni di perdita di equilibrio della struttura.

Verifiche STR:

le verifiche di resistenza degli elementi strutturali di fondazione sono state eseguite contestualmente alla verifica degli elementi strutturali in elevazione.

Le relative verifiche sono riportate nelle relazioni di calcolo;

Verifiche UPL e HYD : poiché nel terreno di fondazione non vi è la presenza della falda non si hanno fenomeni di galleggiamento o di sifonamento

Verifiche GEO: le verifiche di resistenza del terreno interagente con la struttura sono condotte confrontando i valori di resistenza con quelli di progetto come riportato nelle pagine seguenti.

Verifiche GEO: Approcci progettuali e valori di progetto dei parametri geotecnici.

La verifica di resistenza del terreno interagente con la struttura viene condotta:

FONDAZIONI SUPERFICIALI:

con l'Approccio 2 con la Combinazione (A1 + M1 + R3), nella quale i coefficienti A1 sono gli stessi delle verifiche strutturali, i coefficienti M1 sono tutti unitari ed il coefficiente R3 per la verifica della capacità portante $\gamma_R=2,3$.

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_c (o γ_{cs})	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_c	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{cs}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_c	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_m	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_s$	γ_φ	1,0	1,25
Coestione efficace	c'_s	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{ub}	γ_{cs}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale
	(R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE)

Gli stati limite di esercizio si riferiscono al raggiungimento di valori critici dei cedimenti che possono compromettere la funzionalità dell'opera.

I cedimenti sono calcolati con il metodo edometrico.

I valori dei moduli edometrici considerati nel calcolo sono:

		γ t/m ³	ϕ °	Cu daN/cm ²	Cu daN/cm ²	E daN/cm ²	Ed daN/cm ²
Livello 1	Dal p.c. a -3,5 m circa SABBIE LIMOSE DEB. ARGILLOSE E GHIAIOSE	2,17	38	0	0	100	150
Livello 2	Da -3,5 m circa a -8,5 m circa ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI E SABBIE CON LIMI DEBOLMENTE ARGILLOSE	2,05	37	0	0	100	150
Livello 3	Da -8,5 m circa a -12,5 m circa GHIAIE IN MATRICE SABBIOSA GROSSOLANA	1,68	30	0	0	50	100
Livello 4	Da -12,5 m circa in poi ALTERNANZE DI LIMI CON SABBIE ARGILLOSI	1,99	29	0	0,02	50	100

Nelle Relazioni di calcolo delle travi di fondazione questi S.L.E. sono stati verificati

Il geologo ha anche eseguito delle valutazioni dei cedimenti immediati ed a lungo termine .

L'entità dei cedimenti è risultata compatibile con la funzionalità dell'opera.

STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (p. 7.11.3.4)

In accordo a quanto riportato nella **Relazione Geologica al capitolo "12 POTENZIALITA' DI LIQUEFAZIONE DEI DEPOSITI"**, le motivazioni addotte consentono di **ESCLUDERE LA PROBABILITÀ DI LIQUEFAZIONE DI TALE TERRENO**, quindi detta verifica non è stata effettuata (p. 7.11.3.4.2).

FONDAZIONI: RELAZIONE GEOTECNICA

VERIFICA MICROPALI

Diametro	0,30 [m]
y_b	1,35
y_s	1,15
ξ	1,70
H palo	15,00 [m]

NOTA: Devono essere compilati i campi in verde.

n° strato	tipo terreno	ΔH_i [m]	H_f [m]	Falda 0=no; 1=si	Palo 0=no; 1=si	γ_n [kN/m ³]	c_u [kPa]	IC ind. cons.	N_{SPT}	ϕ [°]	K
1	Riparto	0,50	0,50	0	1	19,50	0,00		12,00	28,00	0,45
2	sabbie limose debolmente argillose e ghiaiose	5,50	6,00	1	1	21,67	0,00	0,40		38,00	
3	limi con sabbie argillosi e sabbie con limi debolmente argillose	4,00	10,00	0	1	20,55	0,00	0,40		37,00	
4	Ghiaie in matrice sabbiosa grossolana	3,00	13,00	0	1	16,80	0,00	0,40		30,20	
5	limi con sabbie argillosi e argilla debolmente Limosa	2,00	15,00	0	1	19,98	2,00		14,00	29,00	0,45
6	limi con sabbie argillosi e argilla debolmente Limosa	15,00	30,00	0	0	19,98	2,00		14,00	29,00	0,45
7			0,00								
8			0,00								
9			0,00								

PORTATA LATERALE - Viggiani

Strato	Base palo 0=no; 1=si	γ_n [kN/m ³]	σ'_{vi} [kPa]	σ'_{vf} [kPa]	σ_{vi} [kPa]	α	β	c_α [kPa]	$\sigma'_{h,med}$ [kPa]	s [kPa]	S [kN]
1	0	19,50	0,00	9,75	0,00	0,000	0,239	0,00	4,88	1,17	0,55
2	0	11,67	9,75	73,94	9,75	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0	20,55	73,94	156,14	128,935	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0	16,80	156,14	206,54	211,135	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1	19,98	206,54	246,50	261,535	0,700	0,249	1,40	226,52	57,90	109,14
6	0	19,98	246,50	546,20	301,495	0,700	0,249	1,40	396,35	0,00	0,00
7	0	0,00	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0	0,00	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0	0,00	0,00	0,00	0	0,000	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00

$R_{sc,m}$ Portata limite laterale media **109,69 [kN]**
 R_{sd} Portata di progetto laterale **56,11 [kN]**

PORTATA ALLA BASE - Berenzantzev

n° strato	ΔH_i [m]	H_f [m]	γ_n [kN/m ³]	N_{SPT}	ϕ [°]	c_u [kPa]	σ'_{vL} [kPa]	σ_{vL} [kPa]	γ' [kN/m ³]
5,00	2,00	15,00	19,98	14,00	29,00	2,00	206,54	261,54	19,98

Tabella per il calcolo di N_q

H/D	25	28	31	34	37	40
5	14,56	25,09	43,23	74,47	128,31	221,06
10	11,03	19,22	33,50	58,39	101,76	177,35
15	9,73	17,13	30,16	53,09	93,46	164,53
20	8,58	15,26	27,14	48,27	85,84	152,64
25	8,04	14,42	25,86	46,37	83,17	149,15
30	7,53	13,62	24,64	44,55	80,58	145,73

H/D	50
A_b	0,07 [m ²]
ϕ_{cal}	26,00 [°]
N_q	53,1
c	2,00 [kPa]
N_c	9

$R_{bc,m}$ Portata limite di base **19,76 [kN]**
 R_{bd} Portata di progetto di base **8,61 [kN]**

PORTATA TOTALE

$R_{bc,m}$ Portata limite di base **129,45 [kN]**
 R_d portata di progetto **64,72 [kN]**

EFFETTO DI GRUPPO - Converse Labarre

m	numero di file di pali	2
n	numero di pali per fila	2
i	interasse fra i pali	2,4 [m]
E	fattore di efficienza	0,92
N	numero pali totali	4

Portata limite di gruppo **476,81 [kN]**
 Portata di progetto di gruppo **353,19 [kN]**

VERIFICA TERRE RINFORZATE

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018)

Richiami teorici

Calcolo della spinta sulla parete

Valori caratteristici e valori di calcolo

Effettuando il calcolo tramite le NTC 2018 è necessario fare la distinzione fra i parametri caratteristici ed i valori 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 $\theta = \arctg(k_h/(1 \pm k_v))$ 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:

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

Terreno a permeabilità elevata:

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

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

$$F_{IH} = k_h W \quad F_{IV} = \pm k_v W$$

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.

Verifiche

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 .

Deve quindi essere verificata la seguente disequaglianza

$$M_s / M_r \geq \eta_r$$

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 risulta 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

$$F_r / F_s \geq \eta_s$$

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_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_f$$

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 per cento.

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:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Si adotta per il calcolo del carico limite in fondazione il metodo di MEYERHOF.

L'espressione del carico ultimo è data dalla relazione:

$$Q_u = c N_c d_{c,i} + q N_q d_{q,i} + 0.5 \gamma B N_\gamma d_{\gamma,i}$$

Indicando con:

c , la coesione del terreno in fondazione;

ϕ , l'angolo di attrito del terreno in fondazione;

γ , il peso di volume del terreno in fondazione;

B , la larghezza della fondazione;

D , la profondità del piano di posa;

q , la pressione geostatica alla quota del piano di posa.

N_c, N_q, N_γ , i coefficienti di capacità portante;
 d_c, d_q, d_γ , i fattori di profondità;
 i_c, i_q, i_γ , i fattori di inclinazione del carico;

Fattori di capacità portante

$$N_q = e^{\pi \cdot \text{tg} \phi} \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = [N_q - 1] \text{tg} (1.4\phi)$$

Fattori di profondità

Indichiamo con K_p il coefficiente di spinta passiva espresso da:

$$K_p = \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$d_q = 1 + 0.2 D K_p^{0.5} / B$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \text{per } \phi = 0$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1 D K_p^{0.5} / B \quad \text{per } \phi > 0$$

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:

$$i_c = i_q = (1 - \theta^\circ/90)^\circ$$

$$i_\gamma = (1 - \theta^\circ/\phi^\circ)^\circ \quad \text{per } \phi > 0$$

$$i_\gamma = 0 \quad \text{per } \phi = 0$$

Verifica alla stabilità globale

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

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.

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

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

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

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\text{tg} \phi_i \text{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

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

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

Verifiche interne

Le verifiche interne riguardano la determinazione del non superamento delle resistenze date dai rinforzi per i meccanismi di:

- scorrimento diretto;
- sfilamento;
- resistenza a trazione.

Con S verrà indicata la spinta agente alla quota del rinforzo considerato.

La verifica a scorrimento diretto consiste nell'assicurare una lunghezza del rinforzo tale da scongiurare lo scivolamento del blocco di terra armata al di sopra del rinforzo stesso. La resistenza allo scorrimento lungo un elemento di rinforzo è data dalla seguente espressione:

$$\tau_{\text{scor}} = \sigma'_v f_{ds} \tan \phi'$$

con f_{ds} coeff. di resistenza allo scorrimento.

In termini di forza si ha:

$$T_{\text{scor}} = L_{\text{scor}} \times B \times \tau_{\text{scor}}$$

L_{scor} : Lunghezza del rinforzo;

B : Larghezza del rinforzo (pari ad 1 metro).

La verifica è soddisfatta se:

$$T_{\text{scor}}/S \geq FS_{\text{scor}}$$

La verifica a sfilamento consiste nell'assicurare una lunghezza del rinforzo tale da scongiurare lo sfilamento del rinforzo dalla terra armata. La resistenza allo sfilamento lungo un elemento di rinforzo è data dalla seguente espressione:

$$\tau_{\text{sfil}} = \sigma'_v \times f_{po} \times \tan \phi'$$

con f_{po} coeff. di resistenza allo sfilamento.

In termini di forza si ha:

$$T_{\text{sfil}} = L_{\text{sfil}} \times B \times 2 \tau_{\text{sfil}}$$

L_{sfil} : Lunghezza del rinforzo;

B : Larghezza del rinforzo (pari ad 1 metro).

La verifica è soddisfatta se:

$$T_{\text{sfil}}/S \geq FS_{\text{sfil}}$$

La verifica a trazione consiste nell'assicurare che la tensione nel rinforzo non superi quella ammissibile. La verifica è soddisfatta se:

$$P / T \geq FS_{\text{traz}}$$

con P resistenza ammissibile impiegata per il dimensionamento:

$$P = LTDS / (FS_{\text{giunzione}} \times FS_{\text{chimico}} \times FS_{\text{biologico}} \times FS_{\text{danni ambientali}})$$

$LTDS$: resistenza di progetto a lungo termine;

T : sforzo agente nel rinforzo.

La *verifica del risvolto* consiste nel prevenire spancamenti della facciata. La resistenza allo scorrimento del risvolto è data dalla seguente espressione:

$$\tau_{\text{scor,risv}} = \sigma'_v f_{ds} \tan \phi'$$

con f_{ds} coeff. di resistenza allo scorrimento.

In termini di forza si ha:

$$T_{\text{scor,risv}} = L_{\text{risv}} \times B \times \tau_{\text{scor,risv}}$$

L_{risv} : Lunghezza del rinforzo;

B : Larghezza del rinforzo (pari ad 1 metro).

La verifica è soddisfatta se:

$$T_{\text{scor,risv}}/S \geq FS_{\text{scor}}$$

Verifiche composte

Le verifiche composte riguardano la ricerca dei cinatismi di rottura che riguardano l'insieme terreno rinforzi. Il programma analizza delle famiglie di superfici circolari.

Il calcolo del fattore di sicurezza della superficie circolare è effettuato con il metodo delle strisce tenendo conto del contributo di resistenza dei rinforzi contenuti.

Dati

Normativa

Spinte e verifiche secondo: N.T.C. 2018

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
γ_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_r	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}	1.00	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.30	1.30	1.00
Permanenti NS	Favorevole	γ_{Gfav}	0.80	0.80	0.80
Permanenti NS	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.50	1.50	1.30
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.50	1.50	1.30
Variabili TF	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00	0.00
Variabili TF	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.35	1.35	1.15

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	γ_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_r		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	1.00
Coesione efficace	γ_c'		1.00	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1.00	1.00
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1.00	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_r		1.00	1.00

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

	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	

Verifiche interne - Coefficienti di sicurezza richiesti

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento dei rinforzi	1.50
Coefficiente di sicurezza allo sfilamento del rinforzo	3.00
Coefficiente di sicurezza alla trazione del rinforzo	1.30
Coefficiente di sicurezza allo scorrimento del risvolto	1.30

Verifiche compound - Coefficienti di sicurezza richiesti

Coefficiente di sicurezza alla stabilità locale	1.30
Coefficiente di sicurezza alla stabilità locale sismica	1.30

Descrizione terreni

Caratteristiche fisico meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc]
γ_{sat}	Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc]
ϕ	Angolo di attrito interno del terreno espresso in [°]
δ	Angolo di attrito palo-terreno espresso in [°]
c	Coesione del terreno espressa in [kg/cmq]
ca	Adesione del terreno espressa in [kg/cmq]

Descrizione	γ [kg/mc]	γ_{sat} [kg/mc]	ϕ [°]	δ [°]	c [kg/cm ^q]	ca [kg/cm ^q]
Terreno 1	2000,00	2000,00	37.000	24.670	0,000	0,000
Terreno 2	1900,00	2000,00	34.000	22.670	0,000	0,000

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descrizione	Descrizione terreno
E	Modulo elastico, espresso in [kg/cm ^q]
ν	Coefficiente di Poisson
G	Modulo tangenziale, espresso in [kg/cm ^q]
Vs	Velocità onde di taglio, espressa in [m/s]

Descrizione	E [kg/cm ^q]	ν	G [kg/cm ^q]	Vs [m/s]
Terreno 1	0,00	0.000	0,00	0.00
Terreno 2	0,00	0.000	0,00	0.00

Stratigrafia terreno spingente

Simbologia adottata

n°	Identificativo strato
Sp	Spessore dello strato, espresso in [m]
α	Inclinazione dello strato, espresso in [°]
Terreno	Terreno dello strato

n°	Sp [m]	α [°]	Terreno
1	4,00	0.000	Terreno 1
2	2,00	0.000	Terreno 2

Profilo terreno

Profilo terreno a monte

Simbologia adottata

n°	Indice punto
X	Ascissa punto, espresso in [m]
Y	Ordinata punto, espresso in [m]

n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]	n°	X [m]	Y [m]
1	10,00	0,00	2	--	--	3	--	--	4	--	--

Profilo terreno a valle

Quota terreno rispetto al piano di posa	[m]	0,00
Inclinazione terreno a valle	[°]	0.000

Caratteristiche rinforzi

Simbologia adottata

Rinforzo	Identificativo del rinforzo
LTDS	Resistenza di progetto di lungo termine, espresso in [kg/m]
FS _{DG}	Fattore di sicurezza per danni di giunzione
FS _{DC}	Fattore di sicurezza per danni chimici
FS _{DB}	Fattore di sicurezza per danni biologici
FS _{DA}	Fattore di sicurezza per danni ambientali
LTDS _A	Resistenza di progetto di lungo termine ammissibile, espresso in [kg/m]

Rinforzo	LTDS	FS _{DG}	FS _{DC}	FS _{DB}	FS _{DA}	LTDS _A
----------	------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------

	[kg/m]					[kg/m]
rinforzo 1	5000,00	1.00	1.00	1.00	1.30	3846,15

Geometria terra armata

Simbologia adottata

Il sistema di riferimento è il punto in alto a destra della terra armata

n°	Indice punto
X	Ascissa, espresso in [m]
Y	Ordinata, espresso in [m]

Materiale di riempimento della terra armata: **Terreno 1**

n°	X	Y	n°	X	Y	n°	X	Y	n°	X	Y
	[m]	[m]		[m]	[m]		[m]	[m]		[m]	[m]
1	0,00	0,00	2	-3,00	0,00	3	-3,35	-1,00	4	-3,65	-2,00
5	-4,05	-3,00	6	-4,50	-4,00	7	-5,00	-5,00	8	0,00	-5,00

Descrizione rinforzi della Terra armata

Simbologia adottata

n°	Indice rinforzo
Y	Quota del rinforzo
Rinforzo	Identificativo del rinforzo
L	Lunghezza del rinforzo, espresso in [m]
Lrv	Lunghezza tratto di risvolto verticale (facciata del risvolto), espresso in [m]
Lro	Lunghezza tratto di risvolto orizzontale (interno del risvolto), espresso in [m]
Fds	Parametro di interazione rinforzo-terra utilizzato per la verifica interna a scorrimento diretto
Fpo	Parametro di interazione rinforzo-terra utilizzato per la verifica interna a sfilamento del rinforzo dal terreno

n°	Y	Rinforzo	L	Lrv	Lro	Fds	Fpo
	[m]		[m]	[m]	[m]		
1	-0,40	rinforzo 1	3,14	0,35	1,00	0,90	0,90
2	-0,99	rinforzo 1	3,35	0,59	1,00	0,90	0,90
3	-1,60	rinforzo 1	3,53	0,60	1,00	0,90	0,90
4	-2,20	rinforzo 1	3,73	0,20	1,00	0,90	0,90
5	-2,80	rinforzo 1	3,97	0,60	1,00	0,90	0,90
6	-3,40	rinforzo 1	4,23	0,40	1,00	0,90	0,90
7	-4,00	rinforzo 1	4,50	0,60	1,00	0,90	0,90
8	-4,60	rinforzo 1	4,80	0,60	1,00	0,90	0,90

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]
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
Ψ ₀ , Ψ ₁ , Ψ ₂	Coefficienti di combinazione

Condizione n° 1 - Condizione 1 * VARIABILE TF - (Condizione 1)

Carichi distribuiti

X _i	X _f	Q _i	Q _f
[m]	[m]	[kg/m]	[kg/m]
0,00	10,00	500,00	1000,00

Coeff. di combinazione

Ic	Descrizione	Ψ ₀	Ψ ₁	Ψ ₂
1	Condizione 1	0.70	0.50	0.20

Dati parametri sisma

Identificazione del sito

Latitudine 42.403056

Longitudine 12.861179

Comune Rieti

Provincia Rieti

Regione Lazio

Punti di interpolazione del reticolo 26298 - 26076 - 26075 - 26297

Tipo di opera

Tipo di costruzione Opera ordinaria

Vita nominale 50 anni

Classe d'uso III - Affollamenti significativi e industrie non pericolose

Vita di riferimento	75 anni	Descrizione	Simbolo	Tipo	SLU	SLE	U.M.
Accelerazione al suolo			a_g		2.04	0.87	[m/s ²]
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale			F_0		2.43	2.43	
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante			T_C^*		0.34	0.29	[s]
Tipo di sottosuolo e Coefficiente stratigrafico			S_s	B	1.20	1.20	
Categoria topografica e Coefficiente amplificazione topografica			S_T	T1	1.00	1.00	
Coefficiente di riduzione			β_m		0.38	0.47	

Intensità sismica Verticale/Orizzontale 0.50

Forma diagramma incremento sismico **Stessa forma diagramma statico**

Opzioni di calcolo

Le verifiche di capacità portante sono state eseguite con il metodo di MEYERHOF.

Le verifiche di stabilità globale e di compound sono state eseguite con il metodo di BISHOP.

Per le verifiche interne sono stati analizzati i meccanismi:

- rottura planare
- rottura doppio cuneo
- rottura superficie curvilinea (Circolare)

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - SLU (Approccio 2)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.30	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

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

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - SLU (Approccio 2) - Sisma Vert. negativo

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - EQU

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Favorevole
Spinta terreno	1.30	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - EQU - Sisma Vert. positivo

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Favorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - EQU - Sisma Vert. negativo

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Favorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - STAB

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.30	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - STAB - Sisma Vert. positivo

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - STAB - Sisma Vert. negativo

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - SLE (Quasi Permanente)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.20	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - SLE (Rara)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - SLE (Frequente)

Condizione	γ	Ψ	Effetto
Peso proprio	1.00	1.00	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	1.00	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.50	Sfavorevole

Risultati

Sintesi - Fattori di sicurezza

Verifiche esterne

Simbologia adottata

IC	Indice della combinazione
FS _{Rib}	Fattore di sicurezza a ribaltamento
FS _{Scor}	Fattore di sicurezza a scorrimento
FS _{Qlim}	Fattore di sicurezza a carico limite
FS _{Stab}	Fattore di sicurezza a stabilità globale

IC	FS _{Scor}	FS _{Qlim}	FS _{Rib}	FS _{Stab}
1	2.845	6.543	--	--
2	1.703	5.625	--	--
3	1.628	5.822	--	--
4	--	--	10.463	--
5	--	--	4.781	--
6	--	--	3.720	--
7	--	--	--	1.356
8	--	--	--	1.478
9	--	--	--	1.499
10	3.140	9.014	--	--
11	2.857	8.528	--	--
12	3.027	8.830	--	--

Verifiche interne

Simbologia adottata

n°	Indice rinforzo
FS _{Scor}	Fattore di sicurezza a scorrimento
FS _{Sfil}	Fattore di sicurezza a sfilamento
FS _{Traz}	Fattore di sicurezza a trazione
FS _{ScorR}	Fattore di sicurezza a scorrimento del risvolto

Combinazione n° 1

n°	FS _{Scor}	FS _{Sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	1.522	3.045	11.456	2.932
2	3.643	7.285	9.344	5.557
3	3.643	7.285	5.722	4.699
4	7.388	14.777	5.604	6.848
5	12.354	24.708	5.604	6.435
6	18.517	37.035	5.604	4.906
7	25.878	51.755	5.604	3.987
8	33.963	67.926	4.632	2.395

Combinazione n° 2

n°	FS _{Scor}	FS _{Sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	3.616	7.232	20.712	2.199
2	3.671	7.342	6.284	3.983
3	5.454	10.907	5.952	3.643
4	9.765	19.530	5.952	5.011
5	15.960	31.919	5.952	4.458
6	24.469	48.939	5.952	3.436
7	32.598	65.196	5.952	2.752
8	23.376	46.751	3.774	1.501

Combinazione n° 3

n°	FS _{Scor}	FS _{Sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	1.278	2.556	12.500	2.287
2	2.546	5.091	5.722	4.188
3	5.495	10.991	5.604	3.794
4	9.840	19.680	5.604	5.263
5	15.942	31.883	5.604	4.719
6	23.613	47.227	5.604	3.632
7	33.011	66.023	5.604	2.915
8	25.063	50.126	4.047	1.609

Combinazione n° 10

n°	FS _{Scor}	FS _{Sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	3.643	7.285	18.329	2.932
2	3.643	7.285	5.722	5.557
3	7.388	14.777	5.604	4.699
4	12.354	24.708	5.604	6.848
5	18.517	37.035	5.604	6.435
6	25.878	51.755	5.604	4.906
7	33.963	67.926	5.604	3.987
8	37.320	74.639	5.604	2.395

Combinazione n° 11

n°	FS _{Scor}	FS _{sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	3.643	7.285	18.329	2.932
2	3.643	7.285	5.722	5.557
3	7.388	14.777	5.604	4.699
4	12.354	24.708	5.604	6.848
5	18.517	37.035	5.604	6.435
6	25.878	51.755	5.604	4.906
7	33.963	67.926	5.604	3.987
8	37.320	74.639	5.604	2.395

Combinazione n° 12

n°	FS _{Scor}	FS _{sfil}	FS _{Traz}	FS _{ScorR}
1	3.643	7.285	18.329	2.932
2	3.643	7.285	5.722	5.557
3	7.388	14.777	5.604	4.699
4	12.354	24.708	5.604	6.848
5	18.517	37.035	5.604	6.435
6	25.878	51.755	5.604	4.906
7	33.963	67.926	5.604	3.987
8	37.320	74.639	5.604	2.395

Verifiche composte

Simbologia adottata

IC Indice della combinazione
 FS_{Comp} Coefficiente di sicurezza a stabilità locale (compound)

IC	FS _{Comp}
1	2.151
2	2.288
3	2.196
10	2.421
11	2.421
12	2.421

Verifiche esterne

Risultati spinta

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione
 S Spinta statica, incremento sismico della spinta e spinta falda, espresse in [kg]
 So Componente orizzontale della spinta statica, espresse in [kg]
 Sv Componente verticale della spinta statica, dell'incremento sismico o la sottospinta della falda, espresse in [kg]
 P Punto di applicazione della spinta, dell'incremento sismico e della spinta della falda, espresse in [kg]
 Is Inclinazione della spinta rispetto all'orizzontale, espresa in [°]

n°	Descrizione	S [kg]	So [kg]	Sv [kg]	P [m]	Is [°]
1	Spinta statica	8733	7983	3542	0,00; -3,32	23,92
2	Spinta statica	6045	5526	2449	0,00; -3,37	23,90
	Incremento sismico	1739	1590	705	0,00; -1,67	
3	Spinta statica	6045	5526	2449	0,00; -3,37	23,90
	Incremento sismico	1183	1082	479	0,00; -1,67	
10	Spinta statica	6045	5526	2449	0,00; -3,37	23,90
11	Spinta statica	6687	6113	2712	0,00; -3,32	23,92
12	Spinta statica	6285	5746	2548	0,00; -3,35	23,91

Risultanti al piano di posa

Simbologia adottata

n° Indice della combinazione
 Rp Risultante al piano di posa, espresa in [kg]
 β Inclinazione della risultante rispetto al piano di posa, espresse in [°]
 Rn Risultante normale al piano di posa, espresa in [kg]
 Rt Risultante tangente al piano di posa, espresa in [kg]
 Rx Risultante in direzione X, espresa in [kg]
 Ry Risultante in direzione Y, espresa in [kg]
 e Eccentricità rispetto al baricentro della fondazione, espresa in [m]
 Mr Momento ribaltante, espreso in [kgm]
 Ms Momento stabilizzante, espreso in [kgm]

n°	Rp [kg]	β [°]	Rn [kg]	Rt [kg]	Rx [kg]	Ry [kg]	e [m]	Mr [kgm]	Ms [kgm]
1	54954	8.35	54372	7983	7983	54372	-0,387		
2	45410	13.78	44103	10815	10815	44103	-0,130		
3	41481	14.39	40180	10306	10306	40180	-0,124		
4	43223	10.30	42527	7726	7726	42527	-0,362	12862	134573
5	47408	16.62	45426	13563	13563	45426	0,001	30019	143533
6	41585	17.97	39556	12832	12832	39556	0,031	35914	133584
10	41915	7.58	41549	5526	5526	41549	-0,404		
11	42256	8.32	41812	6113	6113	41812	-0,388		
12	42042	7.86	41648	5746	5746	41648	-0,398		

Verifica a carico limite

Simbologia adottata

n°	Indice della combinazione
Rn	Risultante normale al piano di posa, espressa in [kg]
Qu	Carico ultimo della fondazione, espressa in [kg]
Pv	Pressione terreno allo spigolo di valle, espressa in [kg/cmq]
Pm	Pressione terreno allo spigolo di monte, espressa in [kg/cmq]
Lr	Lunghezza fondazione reagente, espressa in [m]
Nc, Nq, N _g	Coeff. di capacità portante
N'c, N'q, N'g	Coeff. di capacità portante corretti dai coeff. di forma, profondità, inclinazione del piano di posa e inclinazione del piano campagna a valle

n°	N	Qu	Pv	Pm	Lr	Nc	Nq	N _g	N'c	N'q	N'g
	[kg]	[kg]	[kg/cmq]	[kg/cmq]	[m]						
1	54372	355729	0,582	1,593	5,00	42.16	29.44	31.15	34.70	24.23	17.72
2	44103	248100	0,745	1,019	5,00	42.16	29.44	31.15	30.24	21.12	11.02
3	40180	233937	0,684	0,923	5,00	42.16	29.44	31.15	29.76	20.78	10.36
10	41549	374519	0,428	1,234	5,00	42.16	29.44	31.15	35.36	24.69	18.81
11	41812	356579	0,447	1,225	5,00	42.16	29.44	31.15	34.73	24.25	17.77
12	41648	367734	0,435	1,231	5,00	42.16	29.44	31.15	35.12	24.52	18.42

Stabilità globale terra armata + terreno

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla terra armata (spigolo contro terra)

Is	Indice della striscia
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]
l	lunghezza della base della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cmq]
N	sforzo normale alla base della striscia espressa in [kg]
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espressa in [kg]
Rt, Rn	Resistenza tangenziale e normale del rinforzo alla base della striscia espressa in [kg]

Combinazione n° 7

Superficie di scorrimento n° 5 - F_s = 1.36

Is	W	α	φ	c	l	u	N	T	El	Er	Rt	Rn
	[kg]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[m]	[kg/cmq]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	227	-33.890	28.352	0,00	0,72	0,00	373	75	0	271	0	0
2	641	-28.465	28.352	0,00	0,68	0,00	930	224	271	911	0	0
3	976	-23.451	28.352	0,00	0,65	0,00	1285	356	911	1749	0	0
4	1133	-18.755	28.352	0,00	0,63	0,00	1383	427	1749	2599	0	0
5	1134	-14.301	28.352	0,00	0,62	0,00	1302	437	2599	3344	0	0
6	1134	-10.021	28.352	0,00	0,61	0,00	1238	444	3344	3997	0	0
7	1134	-4.088	28.352	0,00	0,60	0,00	1170	450	3997	4529	0	0
8	1283	0.088	28.352	0,00	0,60	0,00	1282	511	4529	5037	0	0
9	2528	4.236	28.352	0,00	0,60	0,00	2462	1003	5037	5856	0	0
10	4184	8.437	28.352	0,00	0,60	0,00	3994	1647	5856	6899	0	0
11	6271	13.793	28.352	0,00	0,61	0,00	5882	2424	6899	7851	0	0
12	7100	18.769	28.352	0,00	0,63	0,00	6606	2675	7851	8258	0	0
13	6967	23.394	28.352	0,00	0,65	0,00	6476	2545	8258	8022	0	0
14	6640	28.315	28.352	0,00	0,68	0,00	6211	2326	8022	7124	0	0
15	6233	33.615	28.352	0,00	0,72	0,00	5919	2066	7124	5568	0	0
16	5716	39.382	31.083	0,00	0,77	0,00	5447	1975	5568	3835	152	125
17	5052	45.700	28.352	0,00	0,85	0,00	5546	1516	3835	925	0	0
18	4244	52.623	31.083	0,00	0,98	0,00	4861	1260	925	-2173	0	0
19	3156	61.030	31.083	0,00	1,23	0,00	4127	776	-2173	-5408	0	0
20	1441	73.898	31.083	0,00	2,15	0,00	2714	236	-5408	-7950	0	0

Combinazione n° 8

Superficie di scorrimento n° 215 - F_s = 1.48

Is	W	α	φ	c	l	u	N	T	El	Er	Rt	Rn
	[kg]	[°]	[°]	[kg/cmq]	[m]	[kg/cmq]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	240	-32.788	34.000	0,00	0,74	0,00	385	92	0	263	0	0
2	677	-27.506	34.000	0,00	0,71	0,00	954	274	263	883	0	0
3	1030	-22.588	34.000	0,00	0,68	0,00	1312	434	883	1690	0	0
4	1189	-17.955	34.000	0,00	0,66	0,00	1398	516	1690	2500	0	0
5	1190	-13.536	34.000	0,00	0,64	0,00	1310	528	2500	3207	0	0
6	1190	-9.271	34.000	0,00	0,63	0,00	1241	536	3207	3823	0	0
7	1190	-4.075	34.000	0,00	0,63	0,00	1174	542	3823	4335	0	0
8	1428	0.630	34.000	0,00	0,63	0,00	1353	652	4335	4836	0	0
9	2887	4.780	34.000	0,00	0,63	0,00	2659	1313	4836	5650	0	0
10	4791	8.983	34.000	0,00	0,63	0,00	4310	2160	5650	6658	0	0
11	6986	13.294	34.000	0,00	0,64	0,00	6173	3103	6658	7597	0	0
12	7448	18.896	34.000	0,00	0,66	0,00	6487	3216	7597	7835	0	0
13	7258	23.598	34.000	0,00	0,68	0,00	6292	3036	7835	7412	0	0
14	6898	28.434	34.000	0,00	0,71	0,00	5993	2769	7412	6341	0	0
15	6451	33.603	34.000	0,00	0,75	0,00	5662	2453	6341	4640	0	0
16	5863	39.173	34.000	0,00	0,81	0,00	5286	2087	4640	2365	0	0
17	5163	45.207	34.000	0,00	0,89	0,00	4848	1682	2365	-379	0	0
18	4282	51.742	37.000	0,00	1,01	0,00	4071	1374	-379	-3129	0	0
19	3114	60.571	37.000	0,00	1,27	0,00	3251	799	-3129	-5863	0	0
20	1348	71.732	37.000	0,00	2,00	0,00	1708	228	-5863	-7541	0	0

Combinazione n° 9

Superficie di scorrimento n° 215 - $F_s = 1.50$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	l [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]	El [kg]	Er [kg]	Rt [kg]	Rn [kg]
1	240	-32.788	34.000	0,00	0,74	0,00	421	91	0	281	0	0
2	677	-27.506	34.000	0,00	0,71	0,00	1044	270	281	939	0	0
3	1030	-22.588	34.000	0,00	0,68	0,00	1438	428	939	1789	0	0
4	1189	-17.955	34.000	0,00	0,66	0,00	1533	509	1789	2634	0	0
5	1190	-13.536	34.000	0,00	0,64	0,00	1437	520	2634	3364	0	0
6	1190	-9.271	34.000	0,00	0,63	0,00	1362	528	3364	3992	0	0
7	1190	-4.075	34.000	0,00	0,63	0,00	1290	534	3992	4504	0	0
8	1428	0.630	34.000	0,00	0,63	0,00	1488	642	4504	4995	0	0
9	2887	4.780	34.000	0,00	0,63	0,00	2924	1295	4995	5768	0	0
10	4791	8.983	34.000	0,00	0,63	0,00	4742	2129	5768	6678	0	0
11	6986	13.294	34.000	0,00	0,64	0,00	6795	3059	6678	7432	0	0
12	7448	18.896	34.000	0,00	0,66	0,00	7144	3171	7432	7414	0	0
13	7258	23.598	34.000	0,00	0,68	0,00	6933	2993	7414	6695	0	0
14	6898	28.434	34.000	0,00	0,71	0,00	6606	2730	6695	5298	0	0
15	6451	33.603	34.000	0,00	0,75	0,00	6245	2418	5298	3245	0	0
16	5863	39.173	34.000	0,00	0,81	0,00	5830	2058	3245	604	0	0
17	5163	45.207	34.000	0,00	0,89	0,00	5346	1658	604	-2510	0	0
18	4282	51.742	37.000	0,00	1,01	0,00	4493	1355	-2510	-5604	0	0
19	3114	60.571	37.000	0,00	1,27	0,00	3590	788	-5604	-8638	0	0
20	1348	71.732	37.000	0,00	2,00	0,00	1884	225	-8638	-10484	0	0

Verifiche interne

Risultati rinforzi

Simbologia adottata

Ir Indice rinforzo
 Sft Sforzo nel rinforzo per meccanismo planare, espressa in [kg/m]
 Sfdc Sforzo nel rinforzo per meccanismo doppio cuneo, espressa in [kg/m]
 Sfr Sforzo nel rinforzo per meccanismo rotazionale, espressa in [kg/m] (sforzo che ha determinato il fattore di sicurezza minore a scorrimento)
 Gli sforzi nei rinforzi possono essere nulli. In tal caso la stabilità della superficie analizzata è garantita a meno del contributo dei rinforzi.

Combinazione n° 1

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	30,82	0,00	335,75
2	119,00	0,00	411,63
3	305,59	0,00	411,63
4	345,47	0,00	481,05
5	374,19	0,00	509,01
6	479,41	0,00	546,77
7	544,68	0,00	546,77
8	830,28	0,00	546,77

Combinazione n° 2

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	31,62	176,31	185,70
2	127,71	612,05	370,15
3	303,17	646,16	465,23
4	363,18	646,16	465,23
5	415,47	646,16	506,51
6	526,61	646,16	506,51
7	607,02	646,16	523,84
8	1019,17	646,16	531,82

Combinazione n° 3

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	30,40	197,62	307,70
2	121,44	672,12	504,18
3	291,10	686,31	461,70
4	345,77	686,31	461,70
5	392,56	686,31	523,68
6	498,21	686,31	523,68
7	573,12	686,31	559,66
8	950,45	686,31	569,54

Combinazione n° 10

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	23,71	0,00	209,84
2	91,54	0,00	398,82
3	235,07	0,00	343,66
4	265,74	0,00	343,66
5	287,84	0,00	392,67
6	368,78	0,00	423,23
7	418,99	0,00	423,23
8	638,68	0,00	423,23

Combinazione n° 11

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	23,71	0,00	209,84
2	91,54	0,00	398,82
3	235,07	0,00	343,66
4	265,74	0,00	343,66
5	287,84	0,00	392,67
6	368,78	0,00	423,23
7	418,99	0,00	423,23
8	638,68	0,00	423,23

Combinazione n° 12

Ir	Sft [kg/m]	Sfdc [kg/m]	Sfr [kg/m]
1	23,71	0,00	209,84
2	91,54	0,00	398,82
3	235,07	0,00	343,66
4	265,74	0,00	343,66
5	287,84	0,00	392,67
6	368,78	0,00	423,23
7	418,99	0,00	423,23
8	638,68	0,00	423,23

Meccanismi di rottura

Simbologia adottata

n°	Indice del rinforzo
Sf	Sforzo nel rinforzo per meccanismo planare, espressa in [kg/m]
Rsc0	Resistenza allo scorrimento, espressa in [kg/m]
FSsco	Fattore di sicurezza allo scorrimento
Rsf1	Resistenza allo sfilamento, espressa in [kg/m]
FSsf1	Fattore di sicurezza allo sfilamento
Rtra	Resistenza a trazione, espressa in [kg/m]
FStra	Fattore di sicurezza a trazione
LI, Lf	Lunghezza libera e di fondazione, espresse in [m]

Meccanismo rottura planare

Combinazione n° 1

Ir	Sf [kg/m]	Rsc0 [kg/m]	FSsco	Rsf1 [kg/m]	FSsf1	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	30,82	864,99	28.067	1729,98	56.134	3846,15	11.456	1,91	1,23
2	119,00	2985,78	25.091	5971,55	50.182	3846,15	9.344	1,64	1,71
3	305,59	6237,33	20.411	12474,65	40.822	3846,15	5.722	1,32	2,21
4	345,47	10485,76	30.352	20971,52	60.705	3846,15	5.604	1,03	2,70
5	374,19	15660,51	41.852	31321,02	83.704	3846,15	5.604	0,77	3,20
6	479,41	20851,92	43.495	41703,84	86.989	3846,15	5.604	0,54	3,69
7	544,68	25882,62	47.519	51765,24	95.037	3846,15	5.604	0,32	4,18
8	830,28	30985,81	37.320	61971,61	74.639	3846,15	4.632	0,13	4,67

Combinazione n° 2

Ir	Sf [kg/m]	Rsc0 [kg/m]	FSsco	Rsf1 [kg/m]	FSsf1	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	31,62	406,62	12.861	813,25	25.721	3846,15	20.712	2,39	0,75
2	127,71	1738,48	13.613	3476,95	27.226	3846,15	6.284	2,05	1,29
3	303,17	4032,93	13.303	8065,87	26.605	3846,15	5.952	1,67	1,86
4	363,18	7199,71	19.824	14399,42	39.649	3846,15	5.952	1,32	2,41
5	415,47	11268,90	27.123	22537,80	54.247	3846,15	5.952	1,00	2,97
6	526,61	15694,49	29.803	31388,98	59.606	3846,15	5.952	0,71	3,52
7	607,02	19787,57	32.598	39575,13	65.196	3846,15	5.952	0,42	4,08
8	1019,17	23823,71	23.376	47647,42	46.751	3846,15	3.774	0,17	4,63

Combinazione n° 3

Ir	Sf [kg/m]	Rsc0 [kg/m]	FSsco	Rsf1 [kg/m]	FSsf1	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	30,40	376,16	12.375	752,31	24.750	3846,15	12.500	2,45	0,69
2	121,44	1672,74	13.774	3345,49	27.548	3846,15	5.722	2,10	1,25
3	291,10	3942,86	13.545	7885,71	27.089	3846,15	5.604	1,71	1,82
4	345,77	7097,71	20.527	14195,43	41.055	3846,15	5.604	1,35	2,38
5	392,56	11166,90	28.446	22333,81	56.893	3846,15	5.604	1,03	2,94
6	498,21	15641,71	31.396	31283,43	62.792	3846,15	5.604	0,73	3,50
7	573,12	19771,94	34.499	39543,88	68.998	3846,15	5.604	0,44	4,06
8	950,45	23821,07	25.063	47642,13	50.126	3846,15	4.047	0,17	4,63

Combinazione n° 10

Ir	Sf [kg/m]	Rsc0 [kg/m]	FSsco	Rsf1 [kg/m]	FSsf1	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	23,71	665,38	28.067	1330,75	56.134	3846,15	18.329	1,91	1,23
2	91,54	2296,75	25.091	4593,50	50.182	3846,15	5.722	1,64	1,71
3	235,07	4797,94	20.411	9595,89	40.822	3846,15	5.604	1,32	2,21
4	265,74	8065,97	30.352	16131,94	60.705	3846,15	5.604	1,03	2,70
5	287,84	12046,55	41.852	24093,09	83.704	3846,15	5.604	0,77	3,20
6	368,78	16039,94	43.495	32079,88	86.989	3846,15	5.604	0,54	3,69
7	418,99	19909,71	47.519	39819,41	95.037	3846,15	5.604	0,32	4,18
8	638,68	23835,24	37.320	47670,47	74.639	3846,15	5.604	0,13	4,67

Combinazione n° 11

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	23,71	665,38	28.067	1330,75	56.134	3846,15	18.329	1,91	1,23
2	91,54	2296,75	25.091	4593,50	50.182	3846,15	5.722	1,64	1,71
3	235,07	4797,94	20.411	9595,89	40.822	3846,15	5.604	1,32	2,21
4	265,74	8065,97	30.352	16131,94	60.705	3846,15	5.604	1,03	2,70
5	287,84	12046,55	41.852	24093,09	83.704	3846,15	5.604	0,77	3,20
6	368,78	16039,94	43.495	32079,88	86.989	3846,15	5.604	0,54	3,69
7	418,99	19909,71	47.519	39819,41	95.037	3846,15	5.604	0,32	4,18
8	638,68	23835,24	37.320	47670,47	74.639	3846,15	5.604	0,13	4,67

Combinazione n° 12

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	23,71	665,38	28.067	1330,75	56.134	3846,15	18.329	1,91	1,23
2	91,54	2296,75	25.091	4593,50	50.182	3846,15	5.722	1,64	1,71
3	235,07	4797,94	20.411	9595,89	40.822	3846,15	5.604	1,32	2,21
4	265,74	8065,97	30.352	16131,94	60.705	3846,15	5.604	1,03	2,70
5	287,84	12046,55	41.852	24093,09	83.704	3846,15	5.604	0,77	3,20
6	368,78	16039,94	43.495	32079,88	86.989	3846,15	5.604	0,54	3,69
7	418,99	19909,71	47.519	39819,41	95.037	3846,15	5.604	0,32	4,18
8	638,68	23835,24	37.320	47670,47	74.639	3846,15	5.604	0,13	4,67

Meccanismo rottura doppio cuneo

Combinazione n° 1

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,14	0,00
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,35	0,00
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,53	0,00
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,73	0,00
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	3,44	0,53
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,64	1,59
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,86	2,64
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,10	3,70

Combinazione n° 2

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	176,31	682,14	3.869	1364,27	7.738	1049,44	21.815	2,17	0,97
2	612,05	2368,04	3.869	4736,08	7.738	3643,14	6.284	1,99	1,36
3	646,16	4962,97	7.681	9925,94	15.361	3846,15	5.952	1,77	1,76
4	646,16	8360,25	12.938	16720,50	25.877	3846,15	5.952	1,57	2,16
5	646,16	12595,45	19.493	25190,89	38.986	3846,15	5.952	1,42	2,55
6	646,16	17668,55	27.344	35337,10	54.688	3846,15	5.952	1,28	2,95
7	646,16	23268,78	36.011	46537,56	72.022	3846,15	5.952	1,16	3,34
8	646,16	28893,54	44.716	57787,08	89.432	3846,15	5.952	1,06	3,74

Combinazione n° 3

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	197,62	719,87	3.643	1439,74	7.285	1107,49	19.462	2,12	1,02
2	672,12	2448,31	3.643	4896,62	7.285	3766,63	5.722	1,94	1,40
3	686,31	5070,78	7.388	10141,56	14.777	3846,15	5.604	1,73	1,80
4	686,31	8478,84	12.354	16957,69	24.708	3846,15	5.604	1,54	2,19
5	686,31	12708,65	18.517	25417,30	37.035	3846,15	5.604	1,40	2,57
6	686,31	17760,19	25.878	35520,38	51.755	3846,15	5.604	1,27	2,96
7	686,31	23309,36	33.963	46618,71	67.926	3846,15	5.604	1,15	3,35
8	686,31	28893,54	42.100	57787,08	84.199	3846,15	5.604	1,06	3,74

Combinazione n° 10

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,14	0,00
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,35	0,00
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,53	0,00
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,73	0,00
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	3,44	0,53
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,64	1,59
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,86	2,64
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,10	3,70

Combinazione n° 11

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSsco	Rsfi [kg/m]	FSsfi	Rtra [kg/m]	FStra	LI [m]	Lf [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,14	0,00
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,35	0,00
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,53	0,00
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,73	0,00
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	3,44	0,53
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,64	1,59

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,86	2,64
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,10	3,70

Combinazione n° 12

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,14	0,00
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,35	0,00
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,53	0,00
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	0,00	100.000	3,73	0,00
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	3,44	0,53
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,64	1,59
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,86	2,64
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,10	3,70

Meccanismo rottura rotazionale

Combinazione n° 1

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	807,76	100.000	2,57	0,57
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	2292,26	100.000	2,69	0,66
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,71	0,82
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,67	1,06
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,56	1,41
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,35	1,88
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,96	2,54
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,25	3,55

Combinazione n° 2

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	16,07	310,68	19.333	621,35	38.666	621,35	239.339	2,57	0,57
2	45,60	881,64	19.333	1763,28	38.666	1763,28	84.340	2,69	0,66
3	92,05	1779,66	19.333	3559,31	38.666	3559,31	41.782	2,71	0,82
4	99,47	3175,78	31.926	6351,57	63.853	3846,15	38.666	2,67	1,06
5	99,47	5346,09	53.745	10692,19	107.490	3846,15	38.666	2,56	1,41
6	99,47	8669,97	87.160	17339,95	174.320	3846,15	38.666	2,35	1,88
7	99,47	13768,86	138.420	27537,71	276.839	3846,15	38.666	1,96	2,54
8	99,47	21530,60	216.449	43061,21	432.899	3846,15	38.666	1,25	3,55

Combinazione n° 3

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	47,49	310,68	6.542	621,35	13.084	621,35	80.990	2,57	0,57
2	80,63	881,64	10.935	1763,28	21.869	1763,28	47.703	2,69	0,66
3	80,63	1779,66	22.073	3559,31	44.145	3559,31	47.703	2,71	0,82
4	80,63	3175,78	39.388	6351,57	78.777	3846,15	47.703	2,67	1,06
5	80,63	5346,09	66.306	10692,19	132.612	3846,15	47.703	2,56	1,41
6	80,63	8669,97	107.531	17339,95	215.063	3846,15	47.703	2,35	1,88
7	80,63	13768,86	170.771	27537,71	341.543	3846,15	47.703	1,96	2,54
8	80,63	21530,60	267.038	43061,21	534.076	3846,15	47.703	1,25	3,55

Combinazione n° 10

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	621,35	100.000	2,57	0,57
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	1763,28	100.000	2,69	0,66
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3559,31	100.000	2,71	0,82
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,67	1,06
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,56	1,41
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,35	1,88
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,96	2,54
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,25	3,55

Combinazione n° 11

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	RTRA [kg/m]	FSTRA	LI [m]	LF [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	621,35	100.000	2,57	0,57
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	1763,28	100.000	2,69	0,66
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3559,31	100.000	2,71	0,82
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,67	1,06
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,56	1,41
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,35	1,88
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,96	2,54
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,25	3,55

Combinazione n° 12

Cerchio n° 234 - Centro (-5,59; 0,00) - Raggio 5,03 - Intersezione profilo valle (-5,00; -5,00) - Intersezione profilo monte (-0,56; 0,00)

Ir	Sf [kg/m]	RSCO [kg/m]	FSSCO	RSFI [kg/m]	FSFI	Rtra [kg/m]	FSTra	LI [m]	Lf [m]
1	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	621,35	100.000	2,57	0,57
2	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	1763,28	100.000	2,69	0,66
3	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3559,31	100.000	2,71	0,82
4	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,67	1,06
5	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,56	1,41
6	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	2,35	1,88
7	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,96	2,54
8	0,00	0,00	100.000	0,00	100.000	3846,15	100.000	1,25	3,55

Verifiche composte

Stabilità globale della terra armata

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Origine in testa alla terra armata (spigolo contro terra)

Is	Indice della striscia
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/cm ²]
b	larghezza della striscia espressa in [m]
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in [kg/cm ²]
N	sforzo normale alla base della striscia espressa in [kg]
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espressa in [kg]

Combinazione n° 1

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.15$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	118	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	117	41
2	355	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	349	122
3	592	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	577	202
4	844	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	810	284
5	1099	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	1045	366
6	1372	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	1278	448
7	1686	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1539	539
8	2043	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1833	642
9	2346	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	2039	714
10	2453	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	2062	722
11	2366	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1928	675
12	2269	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1780	624
13	2160	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1602	561
14	2037	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1422	498
15	1897	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	1236	433
16	1737	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	1037	363
17	1549	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	828	290
18	1323	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	600	210
19	1032	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	365	128
20	564	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	84	29

Combinazione n° 2

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.29$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	91	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	90	30
2	273	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	268	88
3	455	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	444	146
4	649	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	623	205
5	845	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	804	265
6	1055	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	983	324
7	1297	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1184	390
8	1571	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1410	464
9	1805	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	1569	517
10	1887	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	1587	522
11	1820	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1483	488
12	1745	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1369	451
13	1661	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1232	406
14	1567	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1094	360
15	1459	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	950	313
16	1336	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	798	263
17	1192	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	637	210
18	1018	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	462	152
19	794	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	281	92
20	434	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	65	21

Combinazione n° 3

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.20$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	91	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	90	31
2	273	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	268	92
3	455	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	444	152
4	649	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	623	214
5	845	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	804	276
6	1055	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	983	337
7	1297	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1184	406
8	1571	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1410	484
9	1805	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	1569	538
10	1887	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	1587	544
11	1820	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1483	509
12	1745	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1369	470
13	1661	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1232	423
14	1567	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1094	375
15	1459	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	950	326
16	1336	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	798	274
17	1192	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	637	218
18	1018	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	462	158
19	794	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	281	96
20	434	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	65	22

Combinazione n° 10

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.42$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	91	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	90	28
2	273	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	268	84
3	455	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	444	138
4	649	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	623	194
5	845	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	804	250
6	1055	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	983	306
7	1297	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1184	368
8	1571	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1410	439
9	1805	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	1569	488
10	1887	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	1587	494
11	1820	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1483	462
12	1745	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1369	426
13	1661	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1232	383
14	1567	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1094	340
15	1459	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	950	296
16	1336	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	798	248
17	1192	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	637	198
18	1018	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	462	144
19	794	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	281	87
20	434	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	65	20

Combinazione n° 11

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.42$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	91	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	90	28
2	273	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	268	84
3	455	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	444	138
4	649	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	623	194
5	845	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	804	250
6	1055	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	983	306
7	1297	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1184	368
8	1571	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1410	439
9	1805	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	1569	488
10	1887	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	1587	494
11	1820	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1483	462
12	1745	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1369	426
13	1661	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1232	383
14	1567	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1094	340
15	1459	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	950	296
16	1336	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	798	248
17	1192	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	637	198
18	1018	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	462	144
19	794	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	281	87
20	434	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	65	20

Combinazione n° 12

Superficie di scorrimento n° 234 - $F_s = 2.42$

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cm ²]	b [m]	u [kg/cm ²]	N [kg]	T [kg]
1	91	8.815	37.000	0,00	0,22	0,00	90	28
2	273	10.383	37.000	0,00	0,23	0,00	268	84
3	455	12.978	37.000	0,00	0,23	0,00	444	138
4	649	16.197	37.000	0,00	0,23	0,00	623	194
5	845	17.977	37.000	0,00	0,23	0,00	804	250
6	1055	21.305	37.000	0,00	0,24	0,00	983	306
7	1297	24.096	37.000	0,00	0,24	0,00	1184	368
8	1571	26.229	37.000	0,00	0,25	0,00	1410	439
9	1805	29.631	37.000	0,00	0,26	0,00	1569	488
10	1887	32.775	37.000	0,00	0,26	0,00	1587	494

Is	W [kg]	α [°]	ϕ [°]	c [kg/cmq]	b [m]	u [kg/cmq]	N [kg]	T [kg]
11	1820	35.424	37.000	0,00	0,27	0,00	1483	462
12	1745	38.315	37.000	0,00	0,28	0,00	1369	426
13	1661	42.121	37.000	0,00	0,30	0,00	1232	383
14	1567	45.738	37.000	0,00	0,32	0,00	1094	340
15	1459	49.361	37.000	0,00	0,34	0,00	950	296
16	1336	53.343	37.000	0,00	0,37	0,00	798	248
17	1192	57.706	37.000	0,00	0,42	0,00	637	198
18	1018	63.037	37.000	0,00	0,49	0,00	462	144
19	794	69.295	37.000	0,00	0,63	0,00	281	87
20	434	81.435	37.000	0,00	1,49	0,00	65	20

Risultati spostamenti

Non è stata selezionata nessuna superficie.

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2018 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto Ing Miccioni Riccardo, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

Il calcolo delle terre armate viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno;
 - Verifica a ribaltamento;
 - Verifica a scorrimento sul piano di posa;
 - Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite);
 - Verifica della stabilità globale;
 - Verifica dell'opera nei confronti di potenziali superfici di rottura interni alla terra armata. In particolare viene eseguita un'analisi di stabilità interna o locale (tieback) che permette di ottenere una ripartizione omogenea delle tensioni nei rinforzi, ed un'analisi globale (compound) che assicura la stabilità globale e, in particolare, l'esistenza di rinforzi di lunghezza sufficiente a garantirne l'ancoraggio in una porzione del terreno stabile.
- L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

Titolo	GRETA - Terre Armate
Versione	16.0
Produttore	Aztec Informatica srl, Casali del Manco - Loc. Casole Bruzio (CS)
Utente	ing. Mancini Bruno Enrico
Licenza	AIU3716PL

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Dimensione in
 cm
 1:100

