



CITTA' DI TEMPIO PAUSANIA

Lavori di realizzazione strada di collegamento Tempio - strada provinciale per Aglientu - PIA SS 17-19 "Alta Gallura"

3° stralcio funzionale - LOTTO 2° - Tratto 2 - da km 0+725 a km 1+725

REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE : R.T.I.

bonifica spa



**STUDIO GALLI
INGEGNERIA**

Ing. Angelo Binaghi

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI
E PROGETTAZIONE STRADALE
Ing. F. P. Bocchetto (Bonifica)

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Ing. F. Momoni (Bonifica)

ASPETTI AMBIENTALI
Arch. C. Caminiti (Bonifica)

PROGETTAZIONE IDRAULICA
Ing. F. P. Bocchetto (Bonifica)

IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO

Arch. Giancarmelo Serra

IL GEOLOGO

Dott. Geol. L. Caravani

SICUREZZA IN FASE
DI PROGETTAZIONE

Ing. A. Binaghi

Ing. A. Binaghi

RELAZIONE GEOTECNICA

CODICE ELABORATO

PE3GEO RO-02

REV.

B

SCALA

DATA CONSEGNA
Marzo 2021

| | | | | | |
|------|------------------------------|---------------|----------------------|----------------------|--------------------|
| | | | | | |
| B | REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO | Febbraio 2021 | Ing. G.Cambiaghi | Dr. Geol. L.Caravani | Ing. F.P.Bocchetto |
| A | EMISSIONE | Dicembre 2012 | Dr. Geol. L.Caravani | Dr. Geol. L.Caravani | Ing. F.P.Bocchetto |
| REV. | DESCRIZIONE | DATA | REDAZIONE | VERIFICA | APPROVAZIONE |

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 1 |
| 2 | NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO..... | 2 |
| | Normative..... | 2 |
| | Riferimenti bibliografici..... | 2 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO..... | 3 |
| 4 | INDAGINI DISPONIBILI | 4 |
| | Prove di laboratorio | 5 |
| 5 | AZIONI SISMICHE..... | 7 |
| | Azione sismica di progetto | 7 |
| | Quadro di riferimento per l’analisi delle opere d’arte | 9 |
| 6 | PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO..... | 11 |
| 7 | GENERALITÀ..... | 14 |
| 8 | ANALISI DI STABILITA’ | 15 |
| 9 | CONCLUSIONI..... | 22 |

Lavori di realizzazione strada di collegamento Tempio – Strada Provinciale per Aglientu – PIA SS17-19 “Alta Gallura”
3° stralcio funzionale – Lotto 2 – Tratto 2 da km 0+725 a km 1+725
PROGETTO ESECUTIVO - Relazione Geotecnica

1 PREMESSA

La presente relazione illustra ed interpreta i risultati delle indagini, in sito e in laboratorio, disponibili ai fini della progettazione esecutiva della strada di collegamento tra Tempio Pausania e la strada provinciale per Aglientu – PIA SS17-19 “Alta Gallura” dal km 0+725 a km 1+725 e tratta gli aspetti geotecnici concernenti la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni, la schematizzazione litostratigrafica da assumersi come riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto.

L’area interessata dal tracciato stradale ricade in zona classificata come sismica 4 ai sensi dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 2003 e successive modifiche e integrazioni, contenute nell’ordinanza P.C.M. n°3316 e dell’aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17/01/2018).

Le verifiche sismiche vengono condotte facendo riferimento al c.d.d. DM 17/01/2018 assumendo la categoria del sottosuolo di tipo “A” e di tipo “B”.

Sulla base di una analisi della sismicità del sito e delle caratteristiche del deposito, si può ritenere che la probabilità che si verifica la liquefazione è nulla.

2 NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

Normative

□ D.M. 11/3/1988 “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”.

□ “Istruzioni relative alle “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” di cui al decreto ministeriale 11/3/1988. Circ. Dir. Centr. Tecn. N°97/81.

□ DM 17/01/2018 «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”».

□ Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Circolare del 21/01/2019 N° 7 C.S.LL.PP.

□ Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”

□ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28/04/2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”

Riferimenti bibliografici

□ Paratie for Windows, rel. 6.1: Un programma non lineare ad elementi finiti per l’analisi di strutture di sostegno flessibili. Ce.A.S. srl, Milano.

□ GeoSlope/W :Stability modelling with slope. An engineering methodology.

□ J.E. Bowles (1998): Fondazioni progetto e analisi, Mc Graw Hill.

□ Brinch Hansen J. (1970) : A revised and extended formula for bearing capacity. Bulletin n°28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen.

□ Bustamante e Doix B. (1985) : Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes. Bull. Liaison P. et Ch., nov-dec.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

Come si evince dalla Relazione Geologica allegata al presente progetto, l'area è costituita in prevalenza da formazioni granitoidi di era Paleozoica, che costituiscono il basamento cristallino.

Si tratta di un complesso intrusivo legato al magmatismo tardo ercinico datato circa 310-280 Ma che affiora largamente nel settore orientale della Sardegna, dalla Gallura al Sarrabus.

Nel suo complesso, l'ammasso roccioso presenta frequenti sistemi di fratturazione variamente orientati.

La formazione granitica, quando non lapidea, si presenta da mediamente a intensamente alterata con arenizzazione e, nei casi più spinti, caolinizzazione dei feldspati. A rendere ulteriormente complessa la situazione si aggiungono inoltre discreti fenomeni di tettonizzazione con piccole faglie, zone brecciate e milonitizzate.

Al di sopra delle formazioni granitoidi si rinvengono delle formazioni Quaternarie, rappresentate soprattutto da coltri detritico-terrose, con frequenti trovanti lapidei anche di grosse dimensioni, in abbondante matrice sabbioso-limoso. Tali materiali si rinvengono prevalentemente ai piedi dei versanti più elevati. Si tratta di depositi colluviali ed eluviali e detriti di versante, che costituiscono la copertura, e derivano dall'alterazione dei litotipi granitici.

Sono inoltre presenti, limitatamente al fondo valle e lungo corsi d'acqua, dei depositi alluvionali, anch'essi Quaternari, costituiti da sedimenti clastici sabbiosi, limosi e argillosi, talora misti a ghiaia, poco o nulla cementati.

La rete idrografica superficiale è caratterizzata da pochi corsi d'acqua, in genere a carattere stagionale.

Solo il rio Veldidonna evidenzia portate più rilevanti durante i massimi pluviometrici. In genere si tratta di impluvi attivi durante la stagione piovosa, con caratteristiche di ruscellamento diffuso, favorito dall'impermeabilità del substrato granitico e dall'assenza di copertura pedologica rilevante. L'acquifero è scarso se non assente e può essere suddiviso in due tipi. Nei litotipi granitici è caratterizzato da una permeabilità per fessurazione, variabile da media a bassa, presentando una falda superficiale discontinua, legata agli eventi piovosi.

Per quanto riguarda le sorgenti si è in presenza di manifestazioni con portate decisamente legate al regime pluviometrico. Le sorgenti si accentuano numericamente in corrispondenza degli affioramenti filoniani, che impedendo la circolazione idrica suborizzontale, suddivide il corpo roccioso granitico in tante piccole unità idrogeologiche.

4 INDAGINI DISPONIBILI

I dati riportati nella presente relazione e nel profilo geotecnico sono stati desunti dai risultati delle indagini geotecniche condotte nell'area interessata dalla strada di collegamento Tempio – Strada provinciale per Aglientu.

Per il 2° tratto del 2° stralcio funzionale da km 0+725 a km 1+725 si è fatto riferimento alle seguenti indagini:

- N° 10 pozzetti esplorativi di profondità variabile tra 1.0 m e 2.50 m
- N° 2 prove penetrometriche dinamiche continue

All'interno dei pozzetti sono state eseguite le prove riportate nella tabella che segue:

| Pozzetto n° | Prova su piastra | Granulometria |
|-------------|------------------|---------------|
| 34 | | |
| 35 | X | 3 campioni |
| 36 | | |
| 37 | | |
| 38 | | 1 campione |
| 40 | | 1 campione. |
| 41 | | 1 campione. |
| 42 | | 2 campioni |
| 46 | | 2 campioni |
| 47 | | 1 campione |

La prova di carico su piastra, eseguita nel pozzetto n° 35 a -30 cm dal p.c. su limo sabbioso, ha fornito un modulo di deformazione $Me = 16.8 \text{ MPa}$.

La successione stratigrafica evidenziata dalle indagini è riportata nel Profilo Geotecnico 1:1000/100 (PE 3 GEO PR 01 B): sotto una coltre di terreno vegetale di modesto spessore (mediamente pari a 20-40 cm), i pozzetti mostrano la presenza di uno strato di limo sabbioso/sabbia argillosa (LS) in corrispondenza dei fossi su uno strato di granito alterato (Gar), campionato in forma di sabbia grossolana, di spessore variabile tra 2.7 m e 3,0 m. Al di sotto di tale strato si trova il granito litoide (GL), frequentemente fratturato, di cui lo strato superiore rappresenta la porzione superficiale alterata; a volte, in corrispondenza nelle porzioni più depresse degli alvei, tra la formazione granitica anche alterata, è presente un deposito costituito da sabbia limosa alluvionale talora con ghiaia. Qui di seguito si riportano i risultati stratigrafici dei pozzetti eseguiti.

| | Litologia | | | | | | |
|--|---------------------------|------------|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|---------------------|
| Pozzetto | T.vegetale | | Granito arenizzato | | Sabbia limosa/limo sabbioso | | Granito litoide |
| n. | Profondità da m... a m... | spessore m | Profondità da m... a m... | spessore m | Profondità da m... a m... | spessore m | Profondità da m.... |
| 35 | 0 - 0,20 | 0,2 | - | - | 0,20 - 2,50 | 2,3 | >2,50 |
| 34 | 0 - 0,20 | 0,2 | >1,10 | - | 0,20 - 1,10 | 0,9 | - |
| 36 | 0 - 0,20 | 0,2 | >0,20 | - | - | - | - |
| 37 | 0 - 0,25 | 0,25 | - | - | - | - | >0,25 |
| 46 | 0 - 0,20 | 0,2 | >1,9 | - | 0,20 - 1,90 | 1,7 | - |
| 47 | 0 - 0,10 | 0,1 | >1,7 | - | 0,10 - 1,70 | 1,6 | - |
| 42 | 0 - 0,30 | 0,3 | >1,5 | - | 0,30 - 1,50 | 1,2 | - |
| 41 | 0 - 0,20 | 0,2 | >0,20 | - | - | - | - |
| 40 | 0 - 0,40 | 0,4 | >1,95 | - | 0,40 - 1,95 | 1,55 | >2,10 |
| 38 | 0 - 0,25 | 0,25 | >0,25 | - | - | - | - |
| Spessori medi | | 0,23 | | | | 1,54 | 2,30* |
| * Dalla media è stato escluso il valore del PZ37 in quanto praticamente affiorante | | | | | | | |

Per i dettagli in merito ai risultati dell'indagine geognostica (stratigrafie dei sondaggi, foto delle cassette catalogatrici, risultati delle prove DPM etc) si rimanda agli elaborati specifici.

Prove di laboratorio

Le natura dei terreni non ha consentito il prelievo di campioni indisturbati; durante l'esecuzione dei pozzetti sono stati prelevati n. 11 campioni rimaneggiati sui quali sono state condotte analisi granulometriche e limiti di Atterberg.

Si riportano di seguito, in forma tabellare, la classificazione CNR-UNI ottenuta dalle analisi granulometriche.

| Classificazione CNR-UNI 10006/63 | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----|----|--------------------------------|--|--|
| Pozzetto n. | Profondità camp. m da p.c. | Γ KN/m ³ | LL | IP | Classifica C.N.R.-UNI 10006/63 | Descrizione del materiale | Qualità portanti quale terreno di sottofondo |
| 35 | 2,5 | 17,7 | 26 | 12 | A6 | Limo e argilla con ghiaia e sabbia | da medio a scadente |
| 35 | 3,1 | - | - | - | A1b | Sabbia con ghiaia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |
| 35 | 1,1 | - | 24 | 9 | A4 | Limo e Argillacon sabbia ghiaiosa | da medio a scadente |
| 46 | 1,0 | - | 37 | 15 | A6 | Sabbia con limo/argilla ghiaiosa | da medio a scadente |
| 46 | 2,5 | - | - | - | A1b | Sabbia con ghiaia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |
| 47 | 1,7 | - | 25 | 11 | A6 | Sabbia con limo e argilla | da medio a scadente |
| 42 | 1,5 | - | 29 | 13 | A6 | Limo e argilla con ghiaia e breccia sabbiosa | da medio a scadente |
| 42 | 2,5 | - | - | - | A1b | Ghiaia e breccia con sabbia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |
| 41 | 2,5 | - | 16 | 5 | A1b | Ghiaia e breccia con sabbia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |
| 40 | 2,1 | - | - | - | A1a | Ghiaia e breccia con sabbia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |
| 38 | 2,3 | - | 19 | 5 | A1b | Ghiaia e breccia con sabbia limosa/argillosa | da eccellenti a buone |

5 AZIONI SISMICHE

L’OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” identificava la Sardegna in classe IV

| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g] |
|------|---|
| 1 | > 0,25 |
| 2 | 0,15-0,25 |
| 3 | 0,05-0,15 |
| 4 | <0,05 |

cui corrispondono, come indicato nella tabella seguente, valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, inferiori a 0,05 g (dove g è l’accelerazione di gravità)

Azione sismica di progetto

L’azione sismica di progetto si definisce a partire dalla conoscenza della “pericolosità sismica di base” del sito, a sua volta descritta dai seguenti parametri fondamentali, che consentono la definizione delle forme spettrali dei terremoti di progetto:

- a_g: accelerazione orizzontale massima riferita al suolo rigido;
- F₀: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- T*_C: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Detti parametri vengono forniti dalle NTC18 per ogni zona del territorio nazionale in relazione al periodo di riferimento delle opere (dipendente dalla vita nominale, scelta in fase di progetto, e dalla classe d’uso delle stesse), e in relazione a prefissate probabilità di eccedenza, corrispondenti ai quattro diversi Stati Limite Ultimi, nei confronti dei quali vanno effettuate le verifiche di progetto.

In base al D.M. del 17/01/2018 l’azione sismica di riferimento dipende dalla categoria di suolo e da altri parametri quali la vita nominale e classe d’uso dell’opera, legati al livello prestazionale atteso in caso di sisma.

La vita nominale V_N è intesa come il numero di anni nel quale l’opera deve poter essere utilizzata per lo scopo al quale è destinata:

| TIPI DI COSTRUZIONE | | Vita Nominale V_N (in anni) |
|---------------------|--|----------------------------------|
| 1 | Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva | ≤ 10 |
| 2 | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | ≥ 50 |
| 3 | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica | ≥ 100 |

Le verifiche sismiche di opere provvisorie o strutture in fase costruttiva possono omettersi quando le relative durate previste in progetto siano inferiori a 2 anni.

Le classi d’uso fanno riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività e sono 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 d’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 D.M. 5 novembre 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 energia elettrica.

Quadro di riferimento per l'analisi delle opere d'arte

Di seguito si riporta il quadro di riferimento adottato per l'analisi sismica delle opere:

Vita nominale

La scelta della vita nominale delle opere ricade sul valore di 50 anni,

Classe d'uso

Per la classe d'uso si assume la Classe II, con coefficiente d'uso C_U pari a 1.

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento V_R si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U ; pertanto si ottiene:

- $V_R = V_N \times C_U = 50$ anni per tutte le opere e i manufatti.

Parametri sismici

L'individuazione dei parametri sismici di progetto e dei relativi spettri di risposta è avvenuta utilizzando le specifiche coordinate geografiche delle singole opere e degli interventi, in quanto lo sviluppo lineare dell'infrastruttura non consente una definizione univoca dell'azione sismica di riferimento lungo il suo asse.

Si riportano i seguenti valori dei parametri sismici individuati sulla base del territorio regionale per i diversi stati limite (a cui corrisponde un diverso tempo di ritorno T_R), riferiti al terreno rigido, con i relativi spettri di risposta:

Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



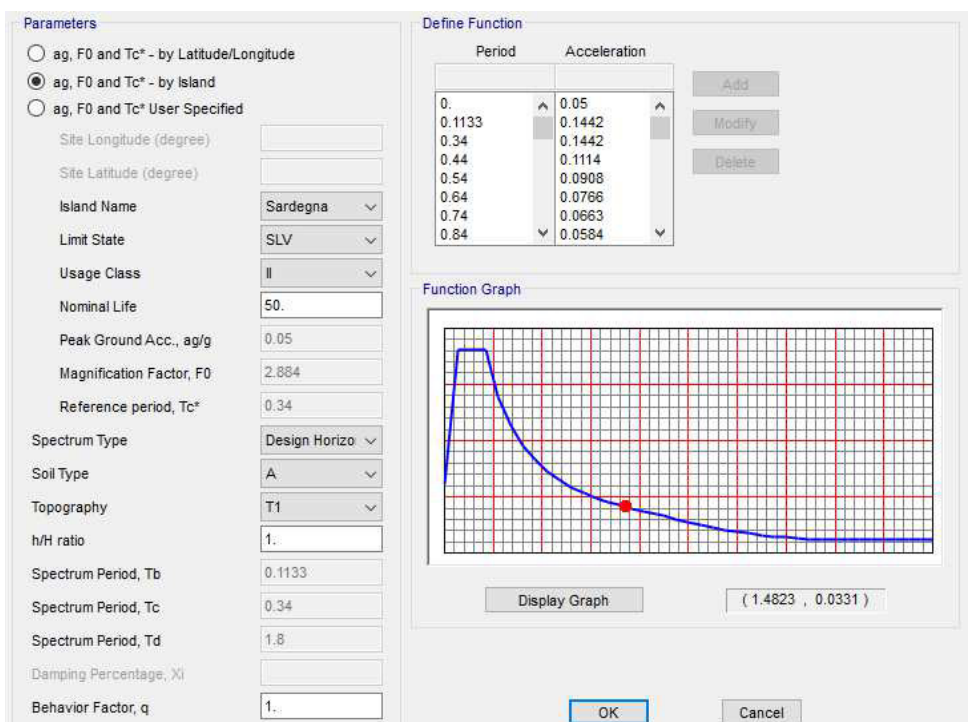
Interpolazione

Media ponderata

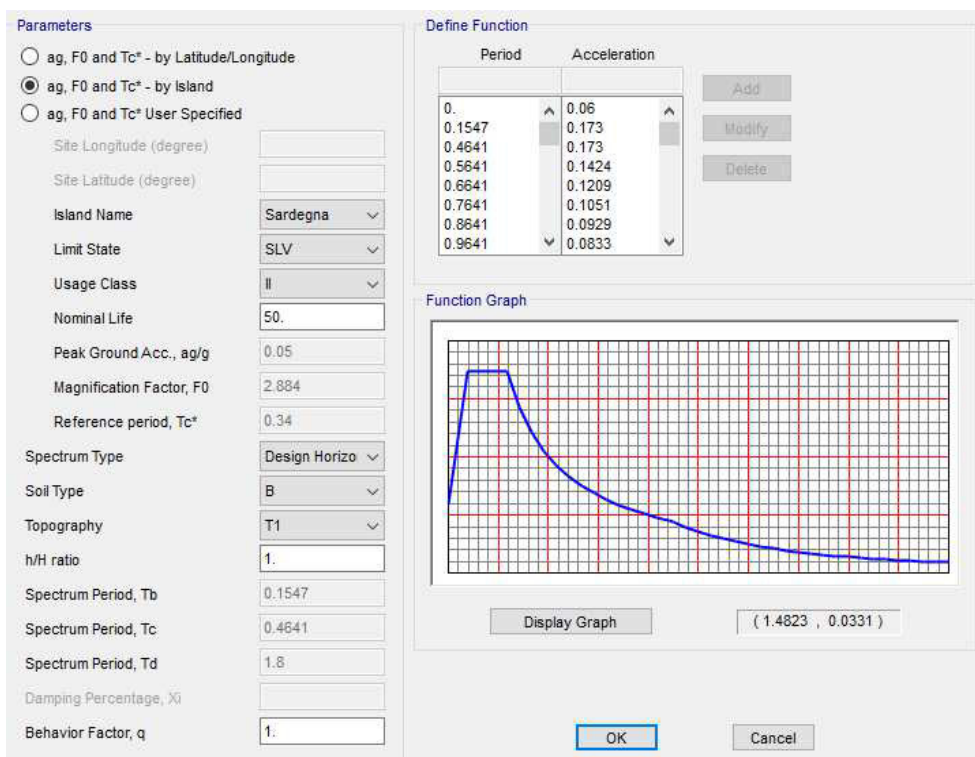
CU = 1

| Stato Limite | Tr [anni] | a_g [g] | Fo | T_c^* [s] |
|--|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.019 | 2.610 | 0.273 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.024 | 2.670 | 0.296 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.050 | 2.880 | 0.340 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.060 | 2.980 | 0.372 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50 | | | |

Spettro elastico per SLV su sottosuolo A



Spettro elastico per SLV su sottosuolo B



6 PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Il tratto di strada in oggetto è caratterizzato dalla presenza roccia litoide (granito litoide, GL), generalmente ricoperta da uno strato di alterazione a carattere sabbioso (granito arenizzato, Gar), il quale a sua volta in corrispondenza degli alvei naturali, è in parte ricoperto da limo sabbioso/sabbia argillosa (LS/SL)

Di seguito si riporta la sintesi dei parametri geotecnici dei terreni di fondazione dei relativi muri di progetto e del materiale da rilevato.

1) Muro di sostegno dx, L=125 m, h=2.5 m e Tombino 3 x 3 pk 1+284,95

Granito affiorante da integro a fratturato (presente ai lati N e S del muro):

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ\text{-}40^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 10\text{-}50 \text{ kPa}$ | coesione |

Granito arenizzato-sabbia (presente nella parte centrale del muro per uno spessore variabile tra 0.8 e 3.0 m)

| | |
|---------------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ\text{-}40^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

2) Muro di sostegno sx, L=38.75 m, h=2.5 m

Limo sabbioso poco o nulla compatto contenente materia organica (0.0 m – 2.5 m):

| | |
|------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 30^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

Granito arenizzato (>2.5 m):

| | |
|------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

La profondità di reperimento del granito litoide è superiore a -3.2m dal p.c che corrisponde alla quota massima di scavo del pozzetto n.34 ritenuto rappresentativo dei terreni costituenti il sottosuolo del muro di sostegno sopra indicato.

3) Muro di sottoscarpa sx, L=80.50 m, h=7.0 m

Sabbia debolmente limosa (0.0 m – 3.0 m):

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 33^\circ - 35^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

Granito arenizzato (>3.0 m):

| | |
|------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

Per profondità superiori a -3.0 m è presente granito litoide da integro a fratturato.

Granito litoide:

| | |
|-------------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ \div 40^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 30 \div 60 \text{ kPa}$ | coesione |
| $E = 50000 \text{ MPa}$ | modulo di Young |

Ai fini del calcolo per le verifiche condotte, ai materiali di rilevato sono stati attribuiti i seguenti valori dei parametri geotecnici:

Materiale da rilevato

| | |
|------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 36^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |
| $E = 35 \text{ MPa}$ | modulo di Young |

4) Tombino 2x2 pk 1+543,83

Sabbia limosa (0.0-2m):

| | |
|----------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 30^\circ - 32^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

Granito arenizzato (>2 m):

| | |
|------------------------------|-------------------|
| $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| $\varphi' = 37^\circ$ | angolo di attrito |
| $c' = 0.0 \text{ kPa}$ | coesione |

La categoria di sottosuolo dei terreni di fondazione dei muri di sostegno destro e sinistro (rispettivamente muro 1 e 3) e del tombino pk 1543 si assume di tipo “A”, ammassi rocciosi affioranti con VS,30 superiori a 800 m/s.

La categoria di sottosuolo dei terreni di fondazione del muro di sottoscarpa (muro 2) cautelativamente si assume di tipo “B”, rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s, poiché i depositi di copertura del granito potrebbero essere maggiori di 4 m.

Condizioni topografiche: T1 – superficie collinare con inclinazione minore di 15°.

7 GENERALITÀ

Il progetto in oggetto è caratterizzato dalla presenza di tratti in rilevato con altezze medie comprese tra 1 e 7 metri; per la pendenza delle scarpate si rimanda agli elaborati di progetto.

È prevista la presenza di banche di larghezza 1.0 m ogni 5.0 m di altezza, la cui altezza viene computata a partire dalla piattaforma stradale. Queste, oltre a garantire una maggiore stabilità, specie in caso di azioni sismiche, sono predisposte anche con l'obiettivo di fornire di uno spazio utile per effettuare interventi di manutenzione lungo il tracciato.

Al di sopra della banca è prevista l'installazione di canalette a sezione rettangolare, la cui funzione è quella di proteggere la scarpata, il piede del rilevato e la stessa berma dal ruscellamento delle acque meteoriche.

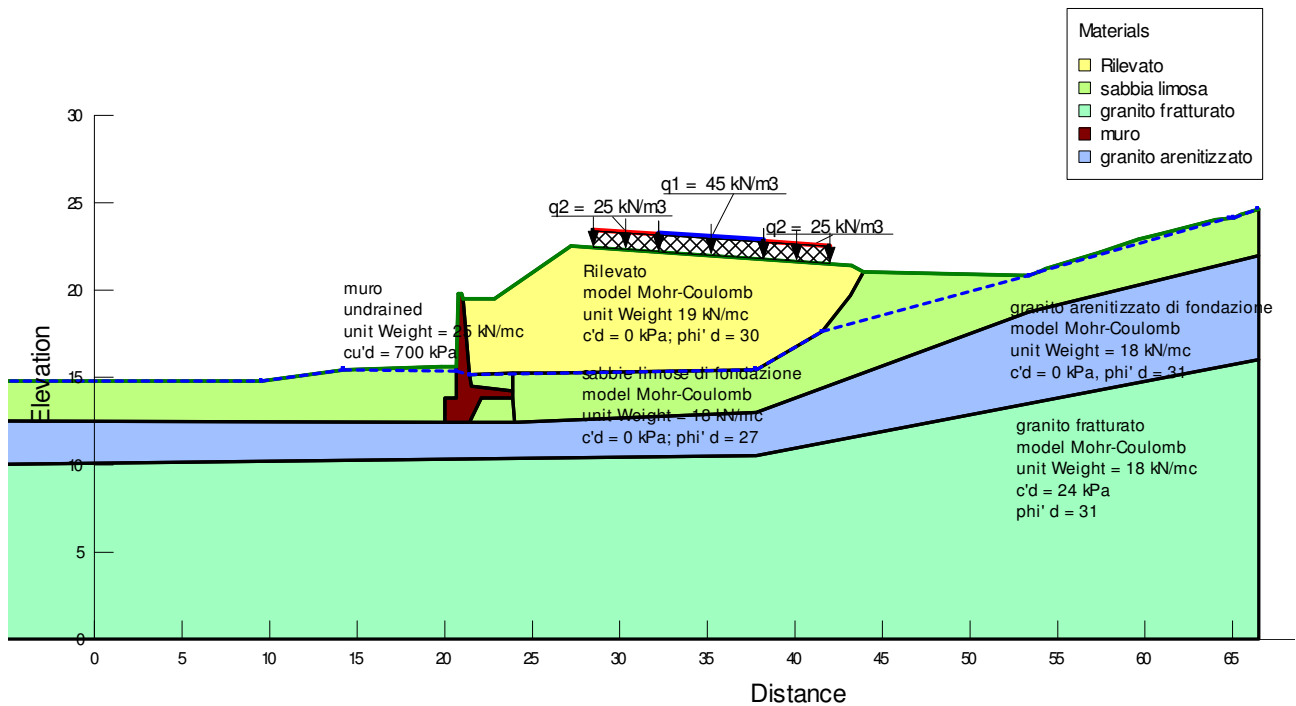
Al piede del rilevato, inoltre, si prevede la presenza di fossi rivestiti al fine di raccogliere le acque meteoriche provenienti dalla piattaforma stradale.

Per la realizzazione dei piani di posa dei rilevati stradali, in corrispondenza del piano di posa del rilevato, lo studio delle indagini condotte indica che è necessaria la rimozione dei primi 0,50 m di terreno, suddivisi per i primi 0,20 m come scotico superficiale e per i restanti 0,30 m come bonifica del piano di posa.

Per ogni ulteriore dettaglio in merito alle sezioni tipo adottate, si rimanda agli specifici elaborati grafici di progetto.

8 ANALISI DI STABILITA'

Analizzando tutte le sezioni trasversali di progetto quella con altezza maggiore e' alla sezione 50 progressiva km 1+225 in cui il rilevato raggiunge un'altezza massima di circa 7,0 m ed è contenuto da un muro tipo Tensiter; qui di seguito la sezione di progetto verificata alla stabilità globale.



Le analisi di stabilità globale delle opere, condotte in situazioni di esercizio e/o in situazioni transitorie (ad esempio nel caso di valutazione della stabilità dei fronti di scavo atti ad alloggiare le strutture) sono state effettuate con i metodi dell'equilibrio limite considerando forme di superfici di scivolamento compatibili con i cinematismi di rottura attesi (circolari, spirali logaritmiche, ecc.).

Per le verifiche di stabilità si è utilizzato il programma di calcolo GeoSlope/W; in ognuna delle analisi effettuate sono state analizzate in media 1500 potenziali superfici di scivolamento, determinando quella cui compete, per ogni condizione di verifica, il minimo fattore di sicurezza.

In condizioni statiche si è verificato che il coefficiente di sicurezza minimo tra quelli calcolati fosse maggiore di quello minimo richiesto dalla normativa, $F_s \geq 1.3$.

In condizioni sismiche è ritenuto accettabile anche un coefficiente di sicurezza strettamente superiore ad 1.

Nel caso delle verifiche sismiche nelle analisi sono state introdotte forze di inerzia pari a:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

essendo F_h e F_v rispettivamente le risultanti verticali e orizzontali delle forze d'inerzia applicate al baricentro della massa potenzialmente instabile, W il peso proprio della massa stessa, $k_h=0.0144$ coefficiente sismico orizzontale e $k_v=0.0072$.

È inoltre stato considerato applicato sul piano stradale un sovraccarico uniformemente distribuito, sia per la verifica statica che per la verifica sismica. Cautelativamente la falda è posizionata al piano campagna.

In accordo alla normativa vigente, con riferimento alle tabella 5.1.II e allo schema di carico 1 (Cap. 5 delle NTC2018), sono stati posti:

$$\bullet 2 * Q_{1k} / (3.0 * 2.2) = 90 \text{ kN/m}^2$$

$$\bullet 2 * Q_{2k} / (3.0 * 2.2) = 60 \text{ kN/m}^2$$

I valori dei parametri di calcolo assunti nelle analisi sono:

Rilevato stradale

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0$$

$$\varphi' = 30^\circ$$

$$E = 35 \text{ MPa}$$

Terreno di fondazione:

Sabbia debolmente limosa

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 27^\circ$$

Granito arenitizzato

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 31^\circ$$

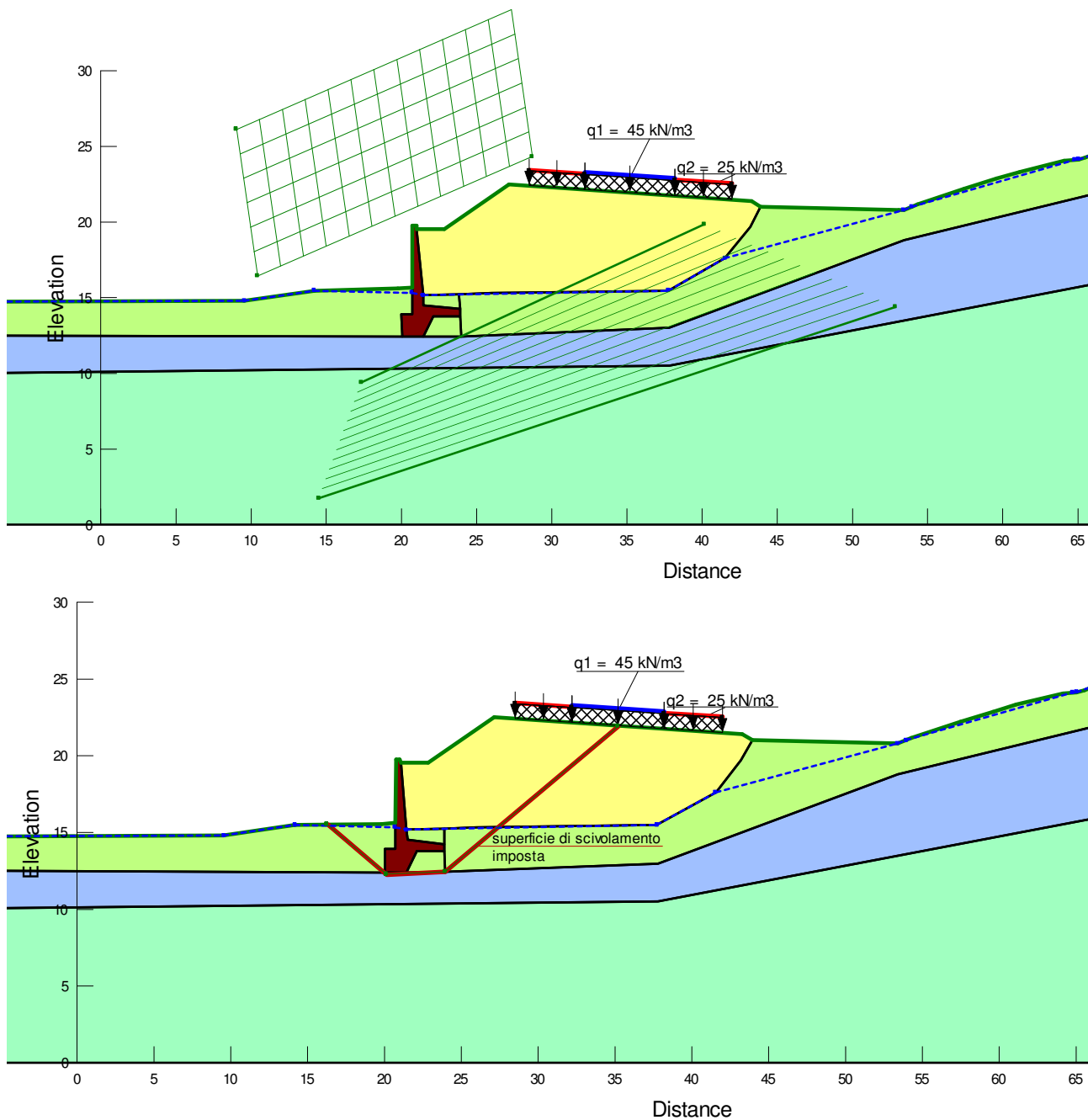
Granito litoide

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$c' = 24 \text{ kPa}$$

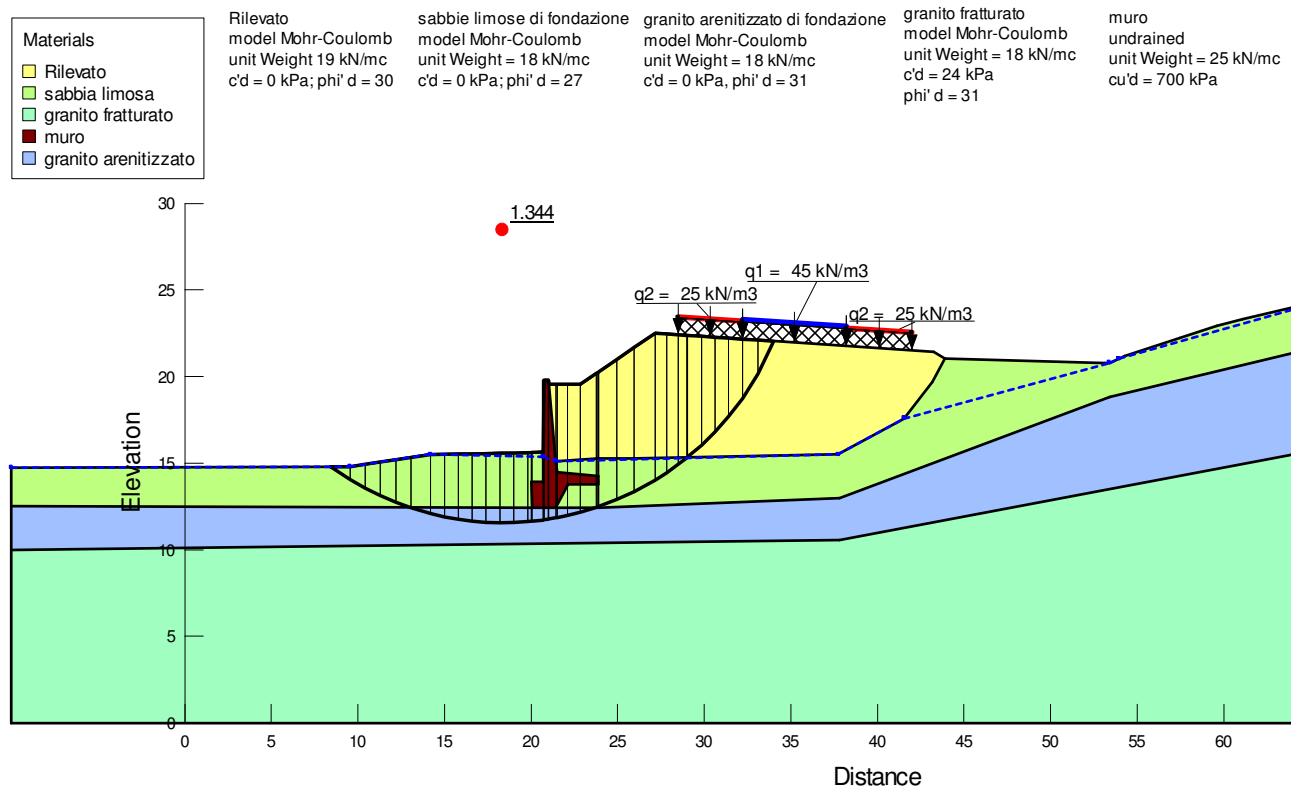
$$\varphi' = 31^\circ$$

La superficie di scivolamento è stata definita come rappresentato in figura seguente.



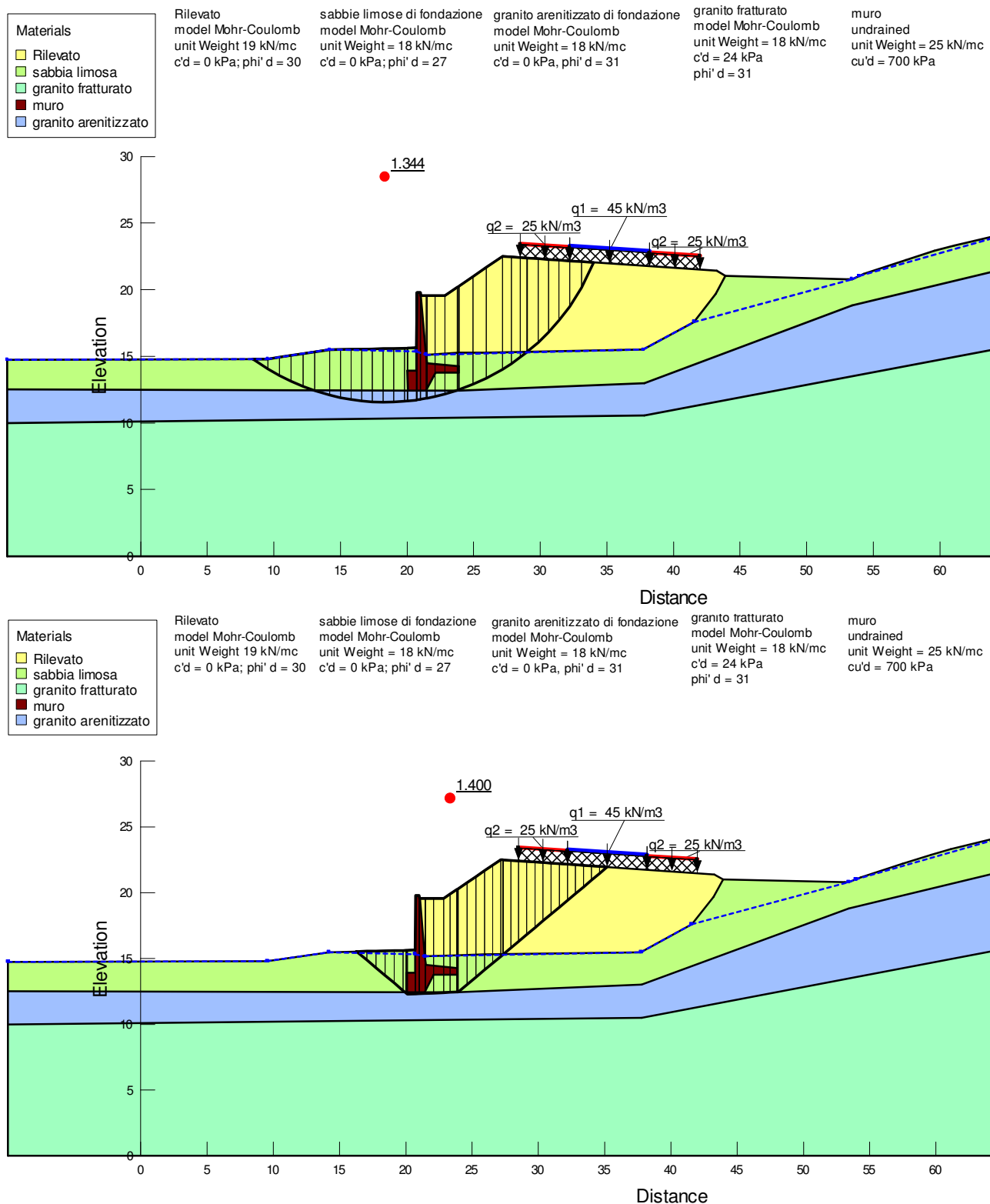
Di seguito si riportano i risultati delle analisi eseguite sotto forma di plottaggi e tabelle con i relativi fattori di sicurezza calcolati.

Sezione n° 50, km 1+225, statica



La verifica statica effettuata con la superficie critica calcolata ha restituito un fattore di sicurezza FS=1.34.

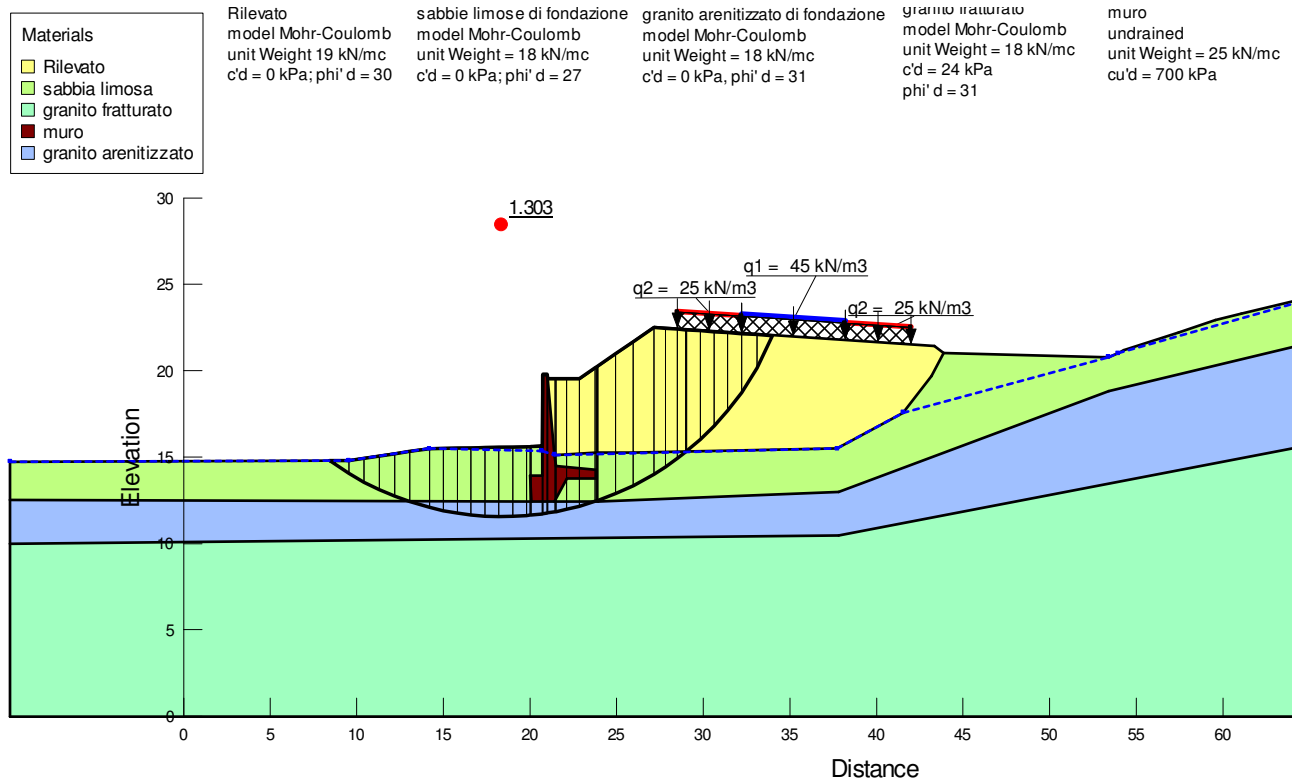
Sezione n° 50, km 1+225, statica



La verifica statica effettuata con la superficie di scorrimento imposta ha restituito un fattore di sicurezza FS=1.36.

Sezione n° 50, km 1+225, sismica

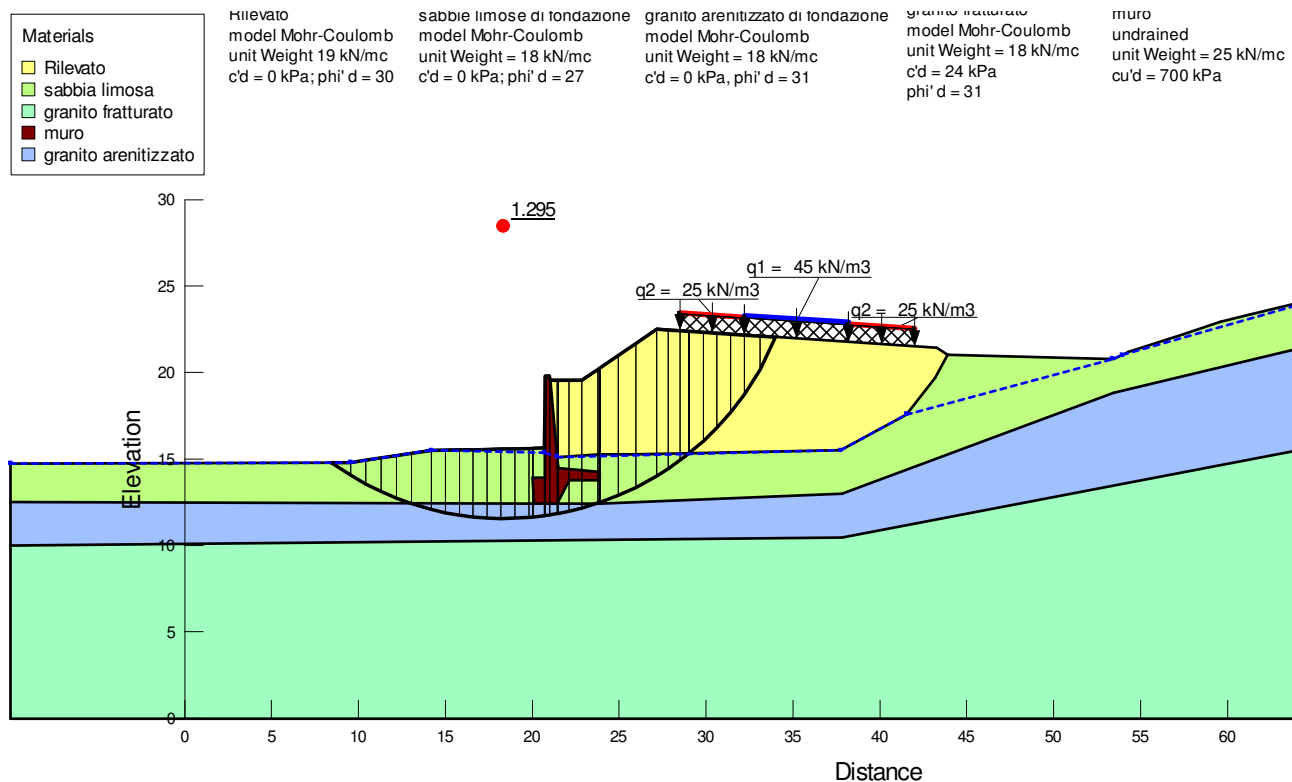
$$k_h=0.0144, k_v=+0.0072$$



La verifica sismica riportata in figura precedente ha restituito un fattore di sicurezza FS=1.3.

Sezione n° 50, km 1+225, sismica

$$k_h=0.0144, k_v=-0.0072$$



La verifica sismica riportata in figura precedente ha restituito un fattore di sicurezza FS=1.3.

Per quanto concerne la verifica sismica non è stata applicata la riduzione del carico uniformemente distribuito in quanto esigua date le modeste entità delle azioni. Tale riduzione porterebbe solo ad un relativo aumento del fattore di sicurezza.

9 CONCLUSIONI

Le indagini condotte hanno consentito di ricostruire il modello geotecnico delle aree di intervento, a cui è riferita la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione dei muri di sostegno e sottoscarpa previsti dal progetto.

Attraverso i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche, per le diverse litologie riscontrate nel sottosuolo sono stati scelti i valori dei parametri geotecnici di riferimento.

La caratterizzazione geotecnica non riguarda lo strato vegetale che dovrà essere rimosso prima della realizzazione delle fondazioni delle opere di progetto. Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica si è fatto riferimento ad un approccio semplificato, in linea con quanto previsto dalle NTC 2018. I parametri sismici di riferimento sono quelli previsti per la Regione Sardegna dalle stesse NTC 2018.

E' stata inoltre eseguita una verifica di stabilità in corrispondenza del rilevato di maggiore altezza che è risultato verificato con un coefficiente di sicurezza pari a $FS=1.36$ in condizioni statiche e $FS=1.3$ in condizioni sismiche.

Eventuali variazioni apportate ai valori delle sollecitazioni, rispetto ai dati utilizzati nei calcoli, richiederanno l'elaborazione di ulteriori verifiche.

La realizzazione dei muri dovrà prevedere l'installazione di dreni orizzontali al fine di ridurre le pressioni interstiziali che potrebbero svilupparsi a tergo del muro; dovrà inoltre essere prevista anche la realizzazione di canalette al fine di allontanare le acque dilavanti dal piede dei muri.