

# CITTÀ METROPOLITANA DI FIRENZE



ACCORDO QUADRO  
SERVIZI DI INGEGNERIA RELATIVI A NUOVE OPERE E MANUTENZIONE DEL PATRIMONIO  
STRADALE DI PROPRIETA' E IN GESTIONE ALLA CITTA' METROPOLITANA DI FIRENZE  
ZONA MANUTENTIVA 2  
CIG DERIVATO: A061534C3F  
CUP: B87H20019430001

INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA DEI DISSESTI FRANOSI NELLA  
FRAZIONE DI TOSI KM 13+100 DELLA SP 86 "REGGELLO-DONNINI-TOSI"

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

TITOLO TAV.

## RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

RUP:  
Arch. Giuseppe Biancamano

DEC:  
Arch. Sara Salvadori

DATA:  
Lug. 2025

# C04

PROGETTISTA GENERALE:  
Ing. Stefano Mattera - ECL-Project Partner Ltd Consulting Engineers

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:  
Ing. Giosuè Sordi - ECL-Project Partner Ltd Consulting Engineers

GEOLOGO:  
Dott. Geol. Claudio Preci - IS Ingegneria e Servizi s.r.l.s

PROGETTISTA DELL'ELABORATO:



**Project Partners Ltd**  
Consulting Engineers  
Ing. Stefano Mattera



SCALA

-

Codice commessa (int)

Liv.

Disciplina

Tipo

Elaborato

Numero

Rev.

|   |   |   |   |   |   |   |          |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | F | STRU-GEO | R | R | C | 0 | 1 | A |
|---|---|---|---|---|---|---|----------|---|---|---|---|---|---|

A

Prima emissione

lug. 2025

EP

GS

SM

Rev.

Descrizione

Data

Redatto

Verificato

Approvato

MANDATARIO:

MANDANTI:



**LEONARDO**  
consorzio europeo  
per l'ingegneria e l'architettura

IS Ingegneria e Servizi s.r.l.s  
Centro Sviluppo Agricolo e Forestale S.T.A.  
Archeomodena Associazione Professionale

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 1 di 1 |

## Sommario

|          |                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA .....</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....</b>                        | <b>2</b>  |
| <b>3</b> | <b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>                   | <b>1</b>  |
| 3.1      | CALCESTRUZZO MURO DI SOSTEGNO .....                         | 1         |
| 3.1      | CALCESTRUZZO PALO.....                                      | 1         |
| 3.2      | ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA.....                         | 2         |
| 3.3      | ACCIAIO PER TIRANTI.....                                    | 3         |
| <b>4</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO .....</b>             | <b>4</b>  |
| 4.1      | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....              | 4         |
| 4.2      | CLASSIFICAZIONE SISMICA.....                                | 5         |
| <b>5</b> | <b>CODICI DI CALCOLO.....</b>                               | <b>6</b>  |
| <b>6</b> | <b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>                            | <b>7</b>  |
| 6.1      | CARICHI PERMANENTI (G1 E G2) .....                          | 7         |
| 6.2      | SPINTA DEL TERRENO.....                                     | 2         |
| 6.2.1    | SPINTA IN PRESENZA DI SISMA – METODO DI MONONOBÉ-OKABE..... | 2         |
| 6.3      | AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO .....                          | 3         |
| 6.3.1    | Azioni sui parapetti e urto dei veicoli in svio.....        | 4         |
| 6.3.2    | Azioni sismiche.....                                        | 5         |
| <b>7</b> | <b>COMBINAZIONI DI CALCOLO.....</b>                         | <b>10</b> |
| 7.1      | SICUREZZA E CALCOLO DELLE PRESTAZIONI ATTESE .....          | 10        |
| 7.1.1    | Stati limite ultimi (SLU).....                              | 10        |
| 7.1.2    | Stati limite di esercizio (SLE).....                        | 10        |
| 7.2      | VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA.....                            | 10        |
| 7.3      | COMBINAZIONE DEI CARICHI.....                               | 11        |
| 7.3.1    | STATI LIMITE ULTIMI.....                                    | 12        |
| 7.3.2    | PROGETTAZIONE GEOTECNICA.....                               | 13        |
| <b>8</b> | <b>VERIFICA DEL MURO TIRANTATO (SEZ. A).....</b>            | <b>14</b> |
| 8.1      | VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....                  | 14        |
| 8.2      | VERIFICA MICROPALO .....                                    | 14        |
| 8.3      | VERIFICA MURO .....                                         | 17        |
| 8.3.1    | Verifica a flessione e taglio.....                          | 17        |
| 8.3.2    | Punzonamento.....                                           | 18        |
| 8.1      | VERIFICA TIRANTE .....                                      | 20        |
| 8.1      | VERIFICHE GEOTECNICHE.....                                  | 22        |
| 8.1.1    | Verifica a stabilità globale .....                          | 22        |
| <b>9</b> | <b>VERIFICA DEL MURO A MENSOLA (SEZ. B).....</b>            | <b>24</b> |
| 9.1      | VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI .....                  | 24        |
| 9.1.1    | Parete.....                                                 | 24        |
| 9.1.2    | Platea.....                                                 | 31        |
| 9.2      | VERIFICHE GEOTECNICHE.....                                  | 37        |
| 9.2.1    | Verifica al ribaltamento.....                               | 37        |
| 9.2.2    | Verifica a scorrimento.....                                 | 37        |
| 9.2.3    | Verifica della capacità portante del terreno.....           | 38        |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 2 di 3 |

|           |                                  |           |
|-----------|----------------------------------|-----------|
| <b>10</b> | <b>VERIFICA PARATIA (SEZ. C)</b> | <b>40</b> |
| 10.1      | VERIFICA MICROPALO               | 40        |
| 10.2      | VERIFICA MURO (PUNZONAMENTO)     | 42        |
| 10.3      | VERIFICA TIRANTE                 | 44        |
| 10.4      | VERIFICHE GEOTECNICHE            | 46        |
| 10.4.1    | Verifica a stabilità globale     | 46        |
| <b>11</b> | <b>CONCLUSIONI</b>               | <b>48</b> |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 3 di 3 |

## Indice delle figure

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI PROGETTO.....                                                                                                 | 1  |
| FIGURA 4.1 UBICAZIONI CAMPIONI E INDAGINI PENETROMETRICHE (C.T.R. REGIONE TOSCANA – FOGLIO 276070 –<br>SCALA 1:500).....                            | 4  |
| FIGURA 6.1 SCHEMA DI CARICO 1 (RIF. 5.1.3.3.5 NTC18) .....                                                                                          | 4  |
| FIGURA 6.2. FASE 1, INDIVIDUAZIONE GEOGRAFICA DEL SITO.....                                                                                         | 6  |
| FIGURA 6.3. FASE 2, DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DELLA STRUTTURA.....                                                                          | 7  |
| FIGURA 6.4. FASE 3, DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DEL SITO .....                                                                                | 8  |
| FIGURA 6.5. GRAFICO SPETTRO ELASTICO SLV .....                                                                                                      | 9  |
| FIGURA 8.1 MODELLO DI CALCOLO SEZIONE A .....                                                                                                       | 14 |
| FIGURA 8.2 SOLLECITAZIONI SUL MURO IN CONDIZIONE FINALE (SEZIONE A) .....                                                                           | 15 |
| FIGURA 8.3 SUPERFICI CRITICHE ANALIZZATE IN CONFIGURAZIONE FINALE (IN ROSSO IL PIANO DI SCORRIMENTO CON<br>COEFFICIENTE DI SICUREZZA MINORE) .....  | 22 |
| FIGURA 10.1 MODELLO DI CALCOLO SEZIONE C .....                                                                                                      | 40 |
| FIGURA 10.2 SOLLECITAZIONI SULLA PARATIA IN CONDIZIONE FINALE (SEZIONE C).....                                                                      | 41 |
| FIGURA 10.3 SUPERFICI CRITICHE ANALIZZATE IN CONFIGURAZIONE FINALE (IN ROSSO IL PIANO DI SCORRIMENTO CON<br>COEFFICIENTE DI SICUREZZA MINORE) ..... | 46 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 1 di 2 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione di calcolo presenta le verifiche svolte in fase di progettazione delle strutture degli interventi di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi, nel comune di Reggello, S.P. 86 "Reggello-Donnini-Tosi" km 13+100.

Per la descrizione dello stato di fatto e della scelta dell'intervento di manutenzione straordinaria si rimanda all'elaborato:

- A02-23.003.2-F-EG-R-RG-01-A Relazione Generale

Le opere si estenderanno per un tratto di circa 100 metri.



*Figura 1.1 Inquadramento dell'area di progetto*

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 2 di 2 |

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le opere contemplate dal presente progetto saranno conformi alla legislazione e alla normativa vigenti. Di seguito sono elencate le principali leggi e norme.

- D.M. 17/01/2018: Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare n.7 del 21/01/2019: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17/01/2018
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20/03/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.P.C.M. del 21/10/2003: Disposizioni attuative dell'art.2, commi 2, 3 e 4, dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003, recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.: Linee guida sul calcestruzzo strutturale
- Eurocodice 2: Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1.1 - Regole generali e regole per gli edifici.
- RFI.DTC.SI.PS.MA.IFS.001.G: Manuale di progettazione delle opere civili (Ed. 2023)
- Sezione 2 – Ponti e strutture
- Sezione 6 - Opere in conglomerato cementizio e in acciaio
- UNI EN 1992-1: Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8): Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- UNI EN 206-1: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità
- UNI 11104: Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1
- RFI.DTC.SI.SP.IFS.001.F: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili (Ed. 2023)

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 1 di 1 |

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZO MURO DI SOSTEGNO

| Classe del calcestruzzo                                   | C32/40                                     |       |       |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
| Resistenza caratteristica cubica a compressione           | $R_{ck}$                                   | [MPa] | 40.00 |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione       | $f_{ck} = 0.83 * R_{ck}$                   | [MPa] | 33.2  |
| Resistenza media cilindrica a compressione                | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                      | [MPa] | 41.2  |
| Resistenza cilindrica a compressione di progetto          | $f_{cd} = f_{ck} * \alpha_{cc} / \gamma_c$ | [MPa] | 18.81 |
| Resistenza media a trazione                               | $f_{ctm}$                                  | [MPa] | 3.20  |
| Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)        | $f_{ctm,5\%}$                              | [MPa] | 2.20  |
| Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)       | $f_{ctm,95\%}$                             | [MPa] | 4.20  |
| Resistenza media a trazione per flessione                 | $f_{ctfm}$                                 | [MPa] | 3.50  |
| Resistenza a trazione caratteristica                      | $f_{ctk}$                                  | [MPa] | 2.20  |
| Resistenza a trazione di progetto                         | $f_{ctd}$                                  | [MPa] | 1.47  |
| Resistenza tangenziale di aderenza caratteristica (n1,n2) | $f_{bk}$                                   | [MPa] | 4.34  |
| Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo             | $f_{bd}$                                   | [MPa] | 2.89  |
| Modulo elastico istantaneo medio (secante)                | $E_{cm}$                                   | [MPa] | 33300 |
| Classe di esposizione                                     | -                                          | -     | XC4   |

#### 3.1 CALCESTRUZZO PALO

| Classe del calcestruzzo                                   | C25/30                                     |       |       |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-------|
| Resistenza caratteristica cubica a compressione           | $R_{ck}$                                   | [MPa] | 30.00 |
| Resistenza caratteristica cilindrica a compressione       | $f_{ck} = 0.83 * R_{ck}$                   | [MPa] | 20.75 |
| Resistenza media cilindrica a compressione                | $f_{cm} = f_{ck} + 8$                      | [MPa] | 28.75 |
| Resistenza cilindrica a compressione di progetto          | $f_{cd} = f_{ck} * \alpha_{cc} / \gamma_c$ | [MPa] | 11.76 |
| Resistenza media a trazione                               | $f_{ctm}$                                  | [MPa] | 2.56  |
| Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)        | $f_{ctm,5\%}$                              | [MPa] | 1.79  |
| Resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)       | $f_{ctm,95\%}$                             | [MPa] | 3.33  |
| Resistenza media a trazione per flessione                 | $f_{ctfm}$                                 | [MPa] | 3.07  |
| Resistenza a trazione caratteristica                      | $f_{ctk}$                                  | [MPa] | 1.79  |
| Resistenza a trazione di progetto                         | $f_{ctd}$                                  | [MPa] | 1.71  |
| Resistenza tangenziale di aderenza caratteristica (n1,n2) | $f_{bk}$                                   | [MPa] | 3.90  |
| Resistenza tangenziale di aderenza di calcolo             | $f_{bd}$                                   | [MPa] | 2.60  |
| Modulo elastico istantaneo medio (secante)                | $E_{cm}$                                   | [MPa] | 31447 |
| Classe di esposizione                                     | -                                          | -     | XC4   |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 2 di 7 |

### 3.2 ACCIAIO AD ADERENZA MIGLIORATA

Si prescrive l'utilizzo di barre ad adherenza migliorata tipo B450C controllato in stabilimento. Si riportano i principali parametri relativi all'acciaio.

|                                                 |              |         |     |
|-------------------------------------------------|--------------|---------|-----|
| Tipo di acciaio                                 |              | B450C   |     |
| Tensione caratteristica di rottura              | $f_{tk}$     | 540     | MPa |
| Tensione caratteristica di snervamento          | $f_{yk}$     | 450     | MPa |
| Tensione di progetto di snervamento             | $f_{yd}$     | 391.3   | MPa |
| Modulo elastico                                 | $E_s$        | 210'000 | MPa |
| Allungamento                                    | $(A_{gt})_k$ | 7.5     | %   |
| Tensione massima in combinazione caratteristica | $\sigma_s$   | 360     | MPa |

#### Copriferro

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21/01/2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

|                                             |                                                     |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| XC4                                         | Corrosione delle armature indotta da carbonatazione | Ciclicamente asciutto e bagnato | Calcestruzzo armato ordinario o precompresso in esterni con superfici soggette a alternanze di asciutto ed umido.<br>Calcestruzzi a vista in ambienti urbani.<br>Superfici a contatto con l'acqua non compresa nella classe XC2. |
|                                             |                                                     |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Max a/c Ratio                               | 0.5                                                 |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Rck min                                     | 40                                                  |                                 | MPa                                                                                                                                                                                                                              |
| fck min                                     | 32                                                  |                                 | MPa                                                                                                                                                                                                                              |
| Min. contenuto cemento                      | 340                                                 |                                 | (Kg/mc)                                                                                                                                                                                                                          |
| Min. contenuto d'aria                       | -                                                   |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Altri requisiti                             | -                                                   |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Rck, utilizzato (MPa)                       | 40                                                  |                                 | OK                                                                                                                                                                                                                               |
|                                             |                                                     |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Calcolo copriferro 4.1.6.1.3 NTC2018</b> |                                                     |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Vita Nominale                               | 50                                                  |                                 | anni                                                                                                                                                                                                                             |
| Condizioni ambientali                       | Aggressive                                          |                                 | Tab 4.1.III NTC 2008                                                                                                                                                                                                             |
| Rck min                                     | 35                                                  |                                 | MPa                                                                                                                                                                                                                              |
| Rck,0                                       | 50                                                  |                                 | MPa                                                                                                                                                                                                                              |
| Elemento e tipo di armatura                 | barre da c.a. su piastra                            |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |
| Copriferro minimo teorico                   | 30                                                  |                                 | mm                                                                                                                                                                                                                               |
| Increment. per vita nominale                | 0                                                   |                                 | mm                                                                                                                                                                                                                               |
| Increment. Per Rck < Rck min                | 0                                                   |                                 | mm                                                                                                                                                                                                                               |
| Contr. di qualità con verif. copriferro     | NO                                                  |                                 |                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 3 di 7 |

|                                |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| <b>Tolleranza di posa (mm)</b> | <b>10</b> | <b>mm</b> |
| <b>Copriferro minimo</b>       | <b>40</b> | <b>mm</b> |

*Tabella 3.1 Copriferro e condizioni ambientali*

### 3.3 ACCIAIO PER TIRANTI

Si prescrive l'impiego di una barra filettata post-tesa tipo DYWIDAG, realizzata in acciaio ad alta resistenza, con filettatura continua a profilo grosso, ottenuta mediante laminazione a caldo su due lati opposti.

La particolare geometria del filetto consente l'installazione di dispositivi di ancoraggio e accoppiatori in qualsiasi punto della barra, garantendo flessibilità nelle operazioni di tesatura e ancoraggio.

La filettatura grossa assicura un'elevata aderenza ai materiali da iniezione (malta o boiaccia cementizia), una maggiore resistenza allo sporco e ai danneggiamenti accidentali durante la movimentazione e la posa in opera.

La conformazione della barra non comporta alcuna riduzione della sezione resistente a causa della filettatura, assicurando pertanto la piena capacità portante del sistema.

|                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| Diametro Nominale (mm)                | 32   |
| Resistenza Ultima Minima (MPa)        | 1050 |
| Snervamento Minimo (MPa)              | 950  |
| Carico di Rottura Minimo (kN)         | 844  |
| Carico di Snervamento Minimo (kN)     | 764  |
| Area della Sezione (mm <sup>2</sup> ) | 804  |
| Peso Lineare (kg/m)                   | 6.53 |
| Disponibile in Australia              | Sì   |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 4 di 7 |

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO

### 4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Le caratteristiche geotecniche dei terreni sono state definite sulla base della caMPagna di indagini in sito, condotta secondo quanto riportato nella Relazione Geologica di riferimento (rif. C03-23.003.2-F-STRU-GEO-R-RG-01-A Relazione Geologica). La caMPagna ha incluso le seguenti attività:

- n. 1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo attrezzato a down-hole;
- n. 1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo attrezzato a inclinometro.

L'ubicazione puntuale delle indagini è stata concordata in sito con le ditte esecutrici, tenendo conto della logistica operativa, delle condizioni di accessibilità e della manovrabilità delle attrezzature.

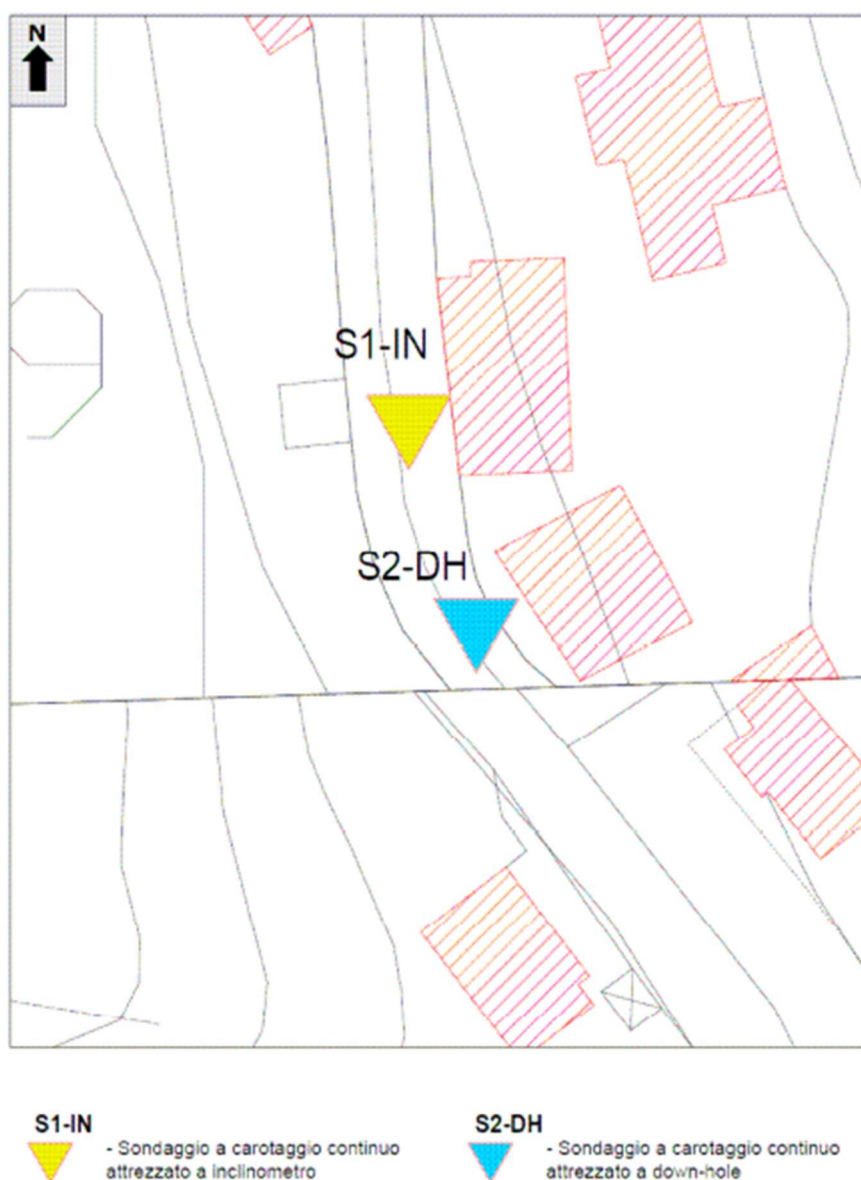


Figura 4.1 Ubicazioni campioni e indagini penetrometriche (C.T.R. Regione Toscana – Foglio 276070 – Scala 1:500)

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 5 di 7 |

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi, costantemente seguiti e diretti da un Geologo di cantiere, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- Raccolta in apposite cassette catalogatrici del materiale estratto (totale n. 16);
- Esecuzione di prove S.P.T. standard (totale n. 24);
- Prelievo di campioni indisturbati – Shelby (totale n. 1);
- Prelievo di campioni semi-disturbati (totale n. 3);
- Prelievo di campioni litodici (totale n. 4);
- Prelievo di campioni rimaneggiati (totale n. 9);
- Documentazione fotografica.

## 4.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Dalla relazione geotecnica si evince che, sulla base dei risultati delle indagini sismiche, il terreno nella zona in progetto rientra nella **categoria di sottosuolo tipo B**. Per quanto concerne le caratteristiche della superficie **topografica**, il sito in oggetto può essere classificato di **categoria T2**, "Pendii con inclinazione media  $i > 15^\circ$ ", caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,2$ .

L'azione sismica di riferimento è individuata in termini di:

$a_g$ : accelerazione massima su suolo tipo **B**;

$S$ : fattore di amplificazione che dipende dalla categoria del suolo e dalla superficie topografica;

$F_0$ : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;

$T_C^*$ : periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo  $T_C$  corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Di seguito si presentano i valori dell'azione sismica di riferimento del sito in esame ( $46^\circ, 10700$  N;  $11^\circ, 09652$  E). Si ricorda, inoltre, come i seguenti parametri risultino invariati per tutti i siti:

- Vita Nominale  $V_N$  50 anni
- Classe d'uso IV
- Coefficiente d'uso  $C_U$  2,0
- Periodo di riferimento  $V_R$  100 anni

Di seguito si presentano i valori dell'azione sismica di riferimento del sito per Stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| $a_g$                          | 0.188 g |
| Coefficiente di suolo $S_s$    | 1.2     |
| Coefficiente Topografico $S_T$ | 1.2     |
| Fattore $F_0$                  | 2.402   |
| Periodo $T_C^*$                | 0.313 s |
| $a_{max}$ (al plateau)         | 0.267 g |

Tabella 4.1 Parametri sismici riferiti al sito

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 6 di 7 |

## 5 CODICI DI CALCOLO

Per il calcolo di stabilità del pendio è stato realizzato un modello della sezione del muro mediante il software ParatiePlus v24.0:

- Produttore/Distributore: Harpaceas Srl, Viale Giulio Richard, 3, 20143 Milano MI
- Titolo: Paratie Plus
- Versione: v24.0
- Seriale licenza: 3653-B39A-C6-\*\*\*\*-\*\*\*\*

Il programma permette di:

- definire la geometria bidimensionale del problema;
- assegnare le proprietà dei materiali (terreni, materiali strutturali, ecc.);
- calcolare le strutture che sostengono i fronti di scavo;
- condurre lo studio di moti di filtrazione, limitatamente ad alcune tipologie ricorrenti di problemi geotecnici, e con l'obiettivo prevalente di stimare le pressioni interstiziali sulle opere di sostegno;
- verificare gli elementi strutturali (pareti, puntoni, tiranti ecc.) secondo diverse Normative;
- analizzare la stabilità dei fronti di scavo, con metodi di calcolo all'equilibrio limite;
- condurre diverse altre verifiche di dettaglio (ad esempio la verifica di tiranti).

Per l'analisi sezionale degli elementi in c.a. è stato utilizzato il software gratuito VCA SLU (v.7.8) di Prof. Piero Gelfi, che consente la Verifica di sezioni in Cemento Armato normale e precompresso, soggette a pressoflessione o tenso-flessione retta o deviata sia allo Stato Limite Ultimo che con il Metodo n.

Per tutte le ulteriori verifiche necessarie al soddisfacimento dei requisiti normativi, non direttamente trattate mediante modellazione agli elementi finiti o software specialistici, si è fatto ricorso a fogli di calcolo sviluppati in ambiente Microsoft Excel.

Tali strumenti sono stati predisposti secondo le prescrizioni delle normative tecniche vigenti (es. NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa) e consentono l'analisi puntuale di specifiche verifiche progettuali non automatizzabili nei software di calcolo.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 7 di 7 |

## 6 ANALISI DEI CARICHI

I pesi dei materiali utilizzati per le strutture portanti sono conformi alle NTC18. Si riportano di seguito le analisi dei carichi unitari agenti sulla struttura.

I valori delle azioni di seguito indicati sono stati considerati come valori caratteristici nelle verifiche agli stati limite

### 6.1 CARICHI PERMANENTI (G1 E G2)

#### Peso proprio muro

| MURO - SEZIONE A         |       |                   |
|--------------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico cls       | 25.00 | kN/m <sup>3</sup> |
| h = altezza parete       | 3.50  | m                 |
| t = spessore parete      | 0.20  | m                 |
| a = scarpa di monte      | 0.35  | m                 |
| b = scarpa di valle      | 1.05  | m                 |
| s = spessore marciapiede | 0.25  | m                 |
| altezza cordolo          | 0.34  | m                 |
| larghezza cordolo        | 0.25  | m                 |
| B = base                 | 1.60  | m                 |
| H = altezza totale       | 3.75  | m                 |
| V_parete                 | 0.7   | m <sup>3</sup> /m |
| V_mensola                | 0.4   | m <sup>3</sup> /m |
| V_tot                    | 1.1   | m <sup>3</sup> /m |
| Peso muro                | 27.50 | kN/m              |

| MURO - SEZIONE B    |        |                   |
|---------------------|--------|-------------------|
| Peso specifico cls  | 25.00  | kN/m <sup>3</sup> |
| h = altezza parete  | 1.60   | m                 |
| t = spessore parete | 0.25   | m                 |
| a = scarpa di monte | 1.00   | m                 |
| b = scarpa di valle | 0.40   | m                 |
| s = spessore base   | 0.25   | m                 |
| B = base            | 1.65   | m                 |
| H = altezza totale  | 1.85   | m                 |
| V_parete            | 0.4    | m <sup>3</sup> /m |
| V_base              | 0.4125 | m <sup>3</sup> /m |
| V_tot               | 0.8125 | m <sup>3</sup> /m |
| Peso muro           | 20.31  | kN/m              |

| MURO - SEZIONE C    |       |                   |
|---------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico cls  | 25.00 | kN/m <sup>3</sup> |
| h = altezza parete  | 2.00  | m                 |
| t = spessore parete | 0.20  | m                 |
| a = scarpa di monte | 0.95  | m                 |
| b = scarpa di valle | 1.05  | m                 |
| s = sp marciapiede  | 0.25  | m                 |
| B = base            | 1.60  | m                 |
| H = altezza totale  | 2.25  | m                 |
| V_parete            | 0.4   | m <sup>3</sup> /m |
| V_mensola           | 0.4   | m <sup>3</sup> /m |
| V_tot               | 0.8   | m <sup>3</sup> /m |
| Peso muro           | 20.00 | kN/m              |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |             |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A       |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 2 di 2 |

## 6.2 SPINTA DEL TERRENO

Nei prospetti illustrati è riportata la porzione di terreno che agisce come spinta attiva sui muri delle sezioni A e B rispettivamente. Il volume di terreno sopra scarpa della sezione A è nullo poiché la geometria della struttura presenta un valore nullo di scarpa, sia a monte che a valle.

| TERRENO A TERGO – SEZIONE A       |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico saturo             | 19.10 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo d'attrito interno caratt.  | 23.00 | °                 |
| gamma                             | 1.00  | [-]               |
| Angolo d'attrito interno di prog. | 23.00 | °                 |
| Coefficiente di spinta attiva     | 0.438 | [-]               |
| Coefficiente di spinta passiva    | 2.283 | [-]               |
| Coefficiente di spinta a riposo   | 0.609 | [-]               |
| delta/fi                          | 0.67  | [-]               |
| Angolo d'attrito terr-cls         | 15.33 | °                 |
| Spessore terreno sopra scarpa     | 3.50  | m                 |
| V_terreno sopra scarpa            | 0     | m <sup>3</sup> /m |
| Altezza muro caricato             | 3.50  | m                 |

| TERRENO RIEMPIMENTO – SEZIONE B   |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico saturo             | 19.10 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo d'attrito interno caratt.  | 30.00 | °                 |
| gamma                             | 1.00  | [-]               |
| Angolo d'attrito interno di prog. | 30.00 | °                 |
| Coefficiente di spinta attiva     | 0.333 | [-]               |
| Coefficiente di spinta passiva    | 3.000 | [-]               |
| Coefficiente di spinta a riposo   | 0.500 | [-]               |
| delta/fi                          | 0.67  | [-]               |
| Angolo d'attrito terr-cls         | 20.00 | °                 |
| Spessore terreno sopra scarpa     | 1.30  | m                 |
| V_terreno sopra scarpa            | 1.3   | m <sup>3</sup> /m |
| Altezza muro caricato             | 1.55  | m                 |

| TERRENO FONDAZIONE – SEZIONE B    |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico saturo             | 19.10 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo d'attrito interno caratt.  | 23.00 | °                 |
| gamma                             | 1.00  | [-]               |
| Angolo d'attrito interno di prog. | 23.00 | °                 |
| Coefficiente di spinta attiva     | 0.438 | [-]               |
| Coefficiente di spinta passiva    | 1.500 | [-]               |
| Coefficiente di spinta a riposo   | 0.609 | [-]               |
| delta/fi                          | 1.00  | [-]               |
| Angolo d'attrito terr-cls         | 23.00 | °                 |
| Spess. Terr. sopra piano fondale  | 0.50  | m                 |

| TERRENO A TERGO – SEZIONE C       |       |                   |
|-----------------------------------|-------|-------------------|
| Peso specifico saturo             | 19.10 | kN/m <sup>3</sup> |
| Angolo d'attrito interno caratt.  | 23.00 | °                 |
| gamma                             | 1.00  | [-]               |
| Angolo d'attrito interno di prog. | 23.00 | °                 |
| Coefficiente di spinta attiva     | 0.438 | [-]               |
| Coefficiente di spinta passiva    | 2.283 | [-]               |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 2 di 48 |

|                                 |       |      |
|---------------------------------|-------|------|
| Coefficiente di spinta a riposo | 0.609 | [-]  |
| delta/fi                        | 1.00  | [-]  |
| Angolo d'attrito terr-cls       | 23.00 | °    |
| Spessore terreno sopra scarpa   | 1.70  | m    |
| V_terreno sopra scarpa          | 1.615 | m³/m |
| Altezza muro caricato           | 1.95  | m    |

Per il calcolo delle sollecitazioni agenti si assume che, all'interfaccia tra il cuneo di spinta e il sistema muro – terreno a tergo della parete, agisca la spinta calcolata in condizioni attive, dato che tutti i meccanismi di collasso presuppongono cinematici in corso di una parte o dell'intera struttura.

Il coefficiente di spinta attiva è espresso dalla relazione:

$$k_a = \tan^2 (45^\circ - \varphi'/2)$$

Quindi la pressione laterale, ad una generica profondità  $z$  e la spinta totale sulla parete di altezza  $H$  valgono:

$$\sigma = k_a \cdot \gamma \cdot z \quad ; \quad S = 0,5 \cdot k_a \cdot \gamma \cdot H^2 \quad \text{per spinta del terreno a monte del muro}$$

$$\sigma = k_a \cdot q \quad ; \quad S = k_a \cdot q \cdot H \quad \text{per spinta del terreno dovuta a carico superficiale}$$

### 6.2.1 SPINTA IN PRESENZA DI SISMA – METODO DI MONONOBE-OKABE

Per tener conto dell'incremento di spinta dovuta al sisma si fa riferimento al metodo di Mononobe-Okabe (cui fa riferimento la Normativa Italiana). Si hanno perciò le seguenti equazioni e convenzioni:

$$k_h = \alpha \frac{S}{r}$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h \quad \text{se } a_{vg}/a_g \text{ è maggiore di } 0,6$$

$$k_v = \pm 0,33 k_h \quad \text{negli altri casi}$$

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Per stati attivi:

$$\text{se: } \beta \leq \phi'_d - \theta$$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

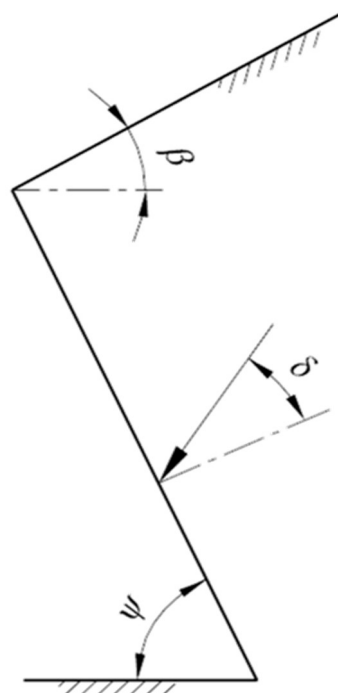
$$\text{se: } \beta > \phi'_d - \theta$$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)}$$

Per stati passivi (resistenza a taglio nulla tra terreno e muro):

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \theta) \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sin \phi'_d \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \sin(\psi + \theta)}} \right]^2}$$

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma (1 \pm k_v) K \cdot H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$



|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 3 di 48 |

Le quali portano ai seguenti risultati per i muri in esame:

| Metodo semplificato: Analisi pseudo-statica |        |                                                    |
|---------------------------------------------|--------|----------------------------------------------------|
| Simbolo                                     | Valore | Descrizione                                        |
| Combinazione                                | SLV    | Analisi dinamica                                   |
| $a_g$ [g]                                   | 0.188  | Accelerazione orizzontale di progetto              |
| $a_{vg}$ [g]                                | 0.11   | Accelerazione verticale di progetto                |
| $\alpha$                                    | 0.19   | EC8-5 4.1.3.3: $a_g/g$                             |
| $S_s$                                       | 1.2    |                                                    |
| $S_T$                                       | 1.200  |                                                    |
| $S$                                         | 1.44   | $S=S_s S_T$                                        |
| $r$                                         | 2.00   | EC8-5 Tabella 7.1: Muro a gravità                  |
| $\psi$ [°]                                  | 90.00  | Inclinazione rispetto all'orizzontale              |
| $\beta$ [°]                                 | 0.00   | Inclinazione del terreno                           |
| $\phi'_k$ [°]                               | 23.00  | Angolo di resistenza a taglio del terreno          |
| $\gamma_{\phi'd}$                           | 1.25   | Coefficiente parziale di sicurezza                 |
| $\phi'_d$ [°]                               | 23.00  | Angolo di resistenza a taglio del terreno          |
| $\delta_d$ [°]                              | 15.33  | Angolo di attrito: $2\phi'_d/3$ (EC7-1 6.5.3 (10)) |
| $a_{vg}/a_g$                                | 0.59   |                                                    |
| $k_h$                                       | 0.14   | EC8-5 7.3.2.2. (7.1)                               |
| $k_v$                                       | 0.04   | EC8-5 7.3.2.2. (7.2-3)                             |
| $E_{ws}$ [kN/m]                             | 0.00   | Spinta statica dell'acqua                          |
| $E_{wd}$ [kN/m]                             | 0.00   | Spinta idrodinamica dell'acqua                     |
| $\theta$                                    | 8.06   |                                                    |
| $K_a$                                       | 0.51   | Stato attivo                                       |
| $K_p$                                       | 2.05   | Stato passivo                                      |

### 6.3 AZIONI VARIABILI DA TRAFFICO

I carichi variabili da traffico sono definiti negli Schemi di Carico descritti nel §5.1.3.3 delle NTC18, disposti su corsie convenzionali posizionate trasversalmente in modo da massimizzare le sollecitazioni.

Ogni schema considera una diversa disposizione ed entità dei carichi, da utilizzare per verifiche globali e locali.

Il modello principale da considerare è lo Schema di Carico 1 composto da:

- Carichi concentrati: rappresentano gli assi dei veicoli pesanti;

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 4 di 48 |

- Carico uniformemente distribuito:
  - $q = 9 \text{ kN/m}^2$  sulle corsie di traffico;
  - $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$  nelle aree esterne alle corsie.

I carichi mobili indicati dalla normativa includono già gli effetti dinamici per pavimentazioni di media rugosità.

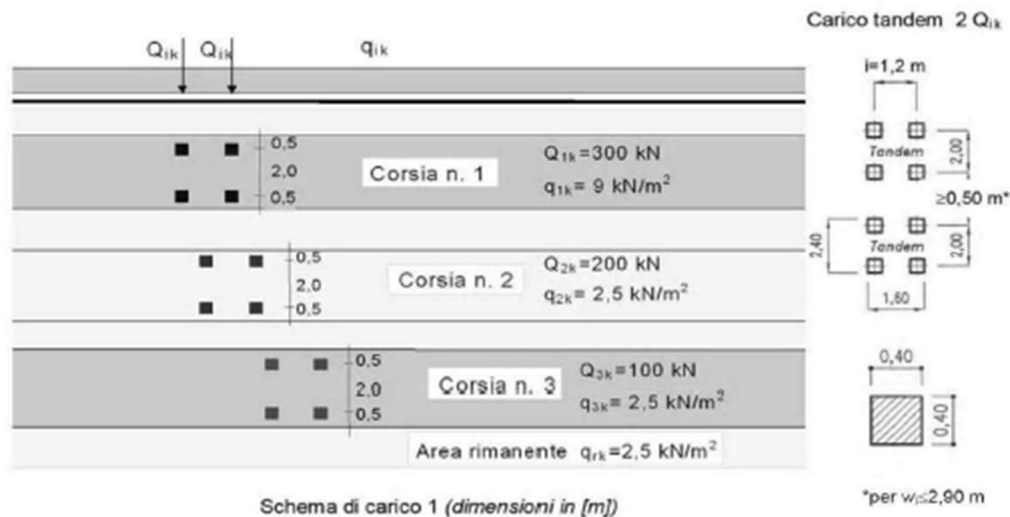


Figura 6.1 Schema di carico 1 (rif. 5.1.3.3.5 NTC18)

Per la presente progettazione, in luogo dell'applicazione puntuale dei carichi da traffico secondo il modello 1, si è scelto cautelativamente di adottare un carico distribuito uniforme pari a  $25 \text{ kN/m}^2$ .

Il valore di  $25 \text{ kN/m}^2$  risulta coerente con il carico distribuito generato da mezzi pesanti civili in condizioni di pieno carico, ed è significativamente superiore al minimo normativo richiesto, garantendo così un margine di sicurezza strutturale.

| CARICHI SU STRADA – SEZIONI A, B, C |     |                 |
|-------------------------------------|-----|-----------------|
| Sovraccarico permanenti             | 3.5 | $\text{kN/m}^2$ |
| Barriera / parapetto                | 1.5 | $\text{kN/m}$   |
| Sovraccarico traffico               | 25  | $\text{kN/m}^2$ |
| Sovraccarico folla                  | 5   | $\text{kN/m}^2$ |
| Azione su parapetto                 | 1.5 | $\text{kN/m}$   |
| Altezza parapetto                   | 1.1 | m               |

### 6.3.1 Azioni sui parapetti e urto dei veicoli in svio

In accordo al §5.1.3.10 delle NTC18, l'azione agente sui parapetti è pari a  $1.50 \text{ kN/m}$  applicata all'altezza del corrimano.

L'opera non è soggetta alla componente di carico dell'urto dei veicoli in quanto il cordolo insormontabile longitudinale adiacente alla carreggiata garantisce la protezione dell'opera.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 5 di 48 |

### 6.3.2 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ . Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) e allo stato limite di danno (SLD).

Le azioni sismiche sono definite in accordo al §3.2 delle NTC18 in funzione dei parametri definiti a seguire.

| <i>Vita della struttura</i>                               |                                   |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Vita nominale dell'opera                                  | $V_N = 50$ anni                   |
| Classe d'uso                                              | II                                |
| Coefficiente d'uso                                        | $C_U = 2$                         |
| Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali | $V_R = V_N \times C_U = 100$ anni |
| <i>Caratteristiche sismiche del sito</i>                  |                                   |
| Topografia                                                | T2                                |
| Coefficiente topografico                                  | $ST = 1.20$                       |
| Categoria suolo                                           | B                                 |

*Tabella 6.1. Parametri azione sismica*

Si riporta a seguire la determinazione dello spettro sismico di progetto.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 6 di 48 |

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE  LATITUDINE

☐ Ricerca per comune
 REGIONE  PROVINCIA  COMUNE

Elaborazioni grafiche

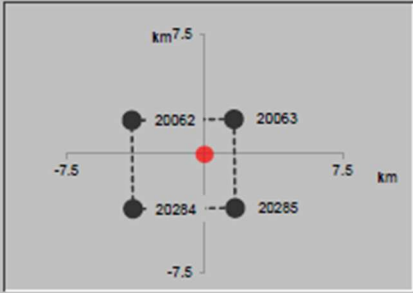
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- ☐ Sito esterno al reticolo
- ☐ Interpolazione su 3 nodi
- ☒ Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 6.2. Fase 1, individuazione geografica del sito

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 7 di 48 |

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$

50

info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$

2

info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$

100

info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$

info

Stati limite di esercizio - SLE

SLO -  $P_{VR} = 81\%$  60

SLD -  $P_{VR} = 63\%$  101

Stati limite ultimi - SLU

SLV -  $P_{VR} = 10\%$  949

SLC -  $P_{VR} = 5\%$  1950

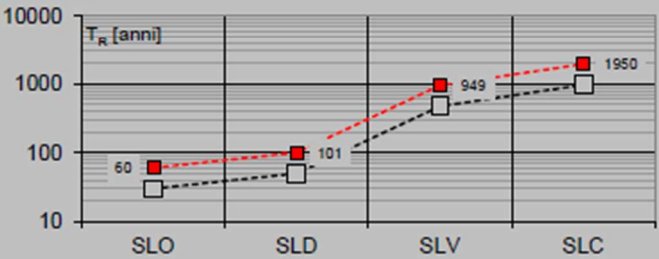
Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

- Strategia per costruzioni ordinarie
- Strategia scelta

INTRO

FASE 1

FASE 2

FASE 3

Figura 6.3. Fase 2, definizione delle caratteristiche della struttura

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 8 di 48 |

FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**  
 Stato Limite considerato SLV info

**Risposta sismica locale**  
 Categoria di sottosuolo B info  
 Categoria topografica T2 info

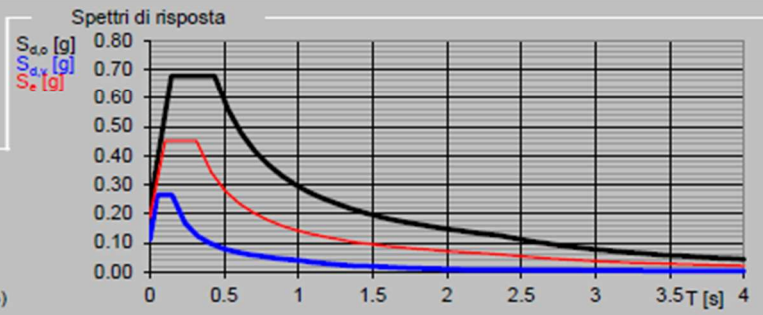
$S_S =$  1.200 info  
 $C_C =$  1.388 info  
 $h/H =$  0.000 info  
(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**  
☐ Spettro di progetto elastico (SLE)  $\xi$  (%) 12.5 info  
☒ Spettro di progetto inelastico (SLU) Fattore  $q_0$  1 info

**Compon. verticale**  
 Spettro di progetto Fattore  $q$  1 info  
 $\eta =$  1.000 info

**Elaborazioni**  

Grafici spettri di risposta ➔  
 Parametri e punti spettri di risposta ➔



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
 — Spettro di progetto - componente verticale  
 — Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

Spettri di risposta

$S_{d,o}$  [g]  
 $S_{d,v}$  [g]  
 $S_e$  [g]

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Figura 6.4. Fase 3, definizione delle caratteristiche del sito

| SLATO LIMITE | $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLO          | 60              | 0.068        | 2.536        | 0.276          |
| SLD          | 101             | 0.083        | 2.536        | 0.284          |
| SLV          | 949             | 0.188        | 2.402        | 0.313          |
| SLC          | 1950            | 0.233        | 2.420        | 0.319          |

Tabella 6.2. Parametri spettri di progetto

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |              |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A        |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 9 di 48 |

### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: **SLV**

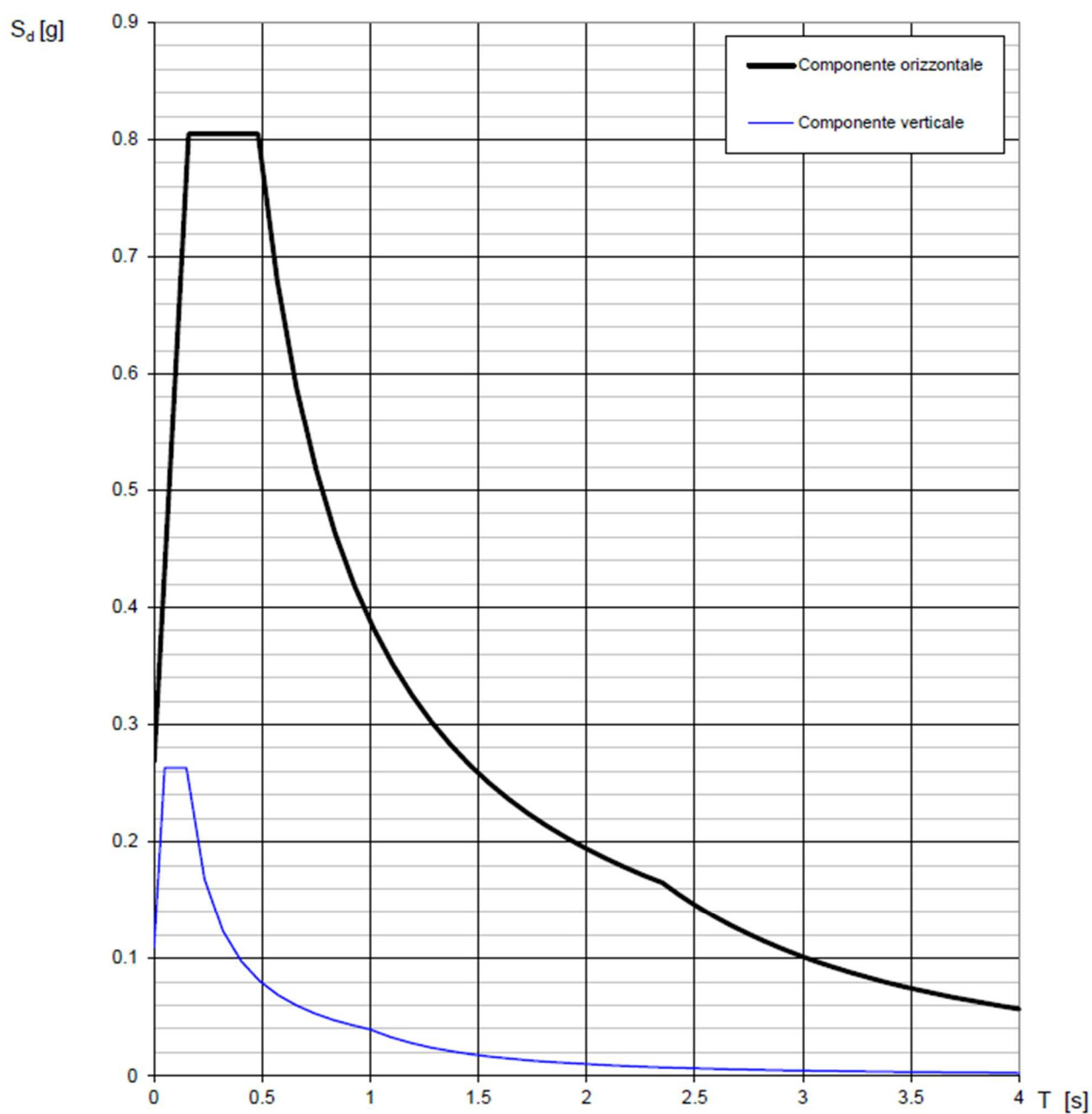


Figura 6.5. Grafico spettro elastico SLV

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 10 di 48 |

## 7 COMBINAZIONI DI CALCOLO

### 7.1 SICUREZZA E CALCOLO DELLE PRESTAZIONI ATTESE

Le opere e le componenti strutturali devono essere progettate, eseguite, collaudate e soggette a manutenzione in modo tale da consentirne la prevista utilizzazione, in forma economicamente sostenibile e con il livello di sicurezza previsto dalle NTC2018. La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Stato limite è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata. In particolare, secondo quanto stabilito nelle NTC2018, le opere e le varie tipologie strutturali devono possedere i seguenti requisiti:

- sicurezza nei confronti di stati limite ultimi (SLU);  
capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone ovvero comportare la perdita di beni, ovvero provocare gravi danni ambientali e sociali, ovvero mettere fuori servizio l'opera;
- sicurezza nei confronti di stati limite di esercizio (SLE):  
capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio;  
robustezza nei confronti di azioni eccezionali: capacità di evitare danni sproporzionati rispetto all'entità delle cause innescanti quali incendio, esplosioni, urti.

#### 7.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

I principali Stati Limite Ultimi, di cui al §2.2 delle NTC2018, sono elencati nel seguito:

- perdita di equilibrio della struttura o di una sua parte;
- spostamenti o deformazioni eccessive;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza di parti di strutture, collegamenti, fondazioni;
- raggiungimento della massima capacità di resistenza della struttura nel suo insieme;
- raggiungimento di meccanismi di collasso nei terreni;
- rottura di membrane e collegamenti per fatica;
- rottura di membrane e collegamenti per altri effetti dipendenti dal tempo;
- instabilità di parti della struttura o del suo insieme.

#### 7.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

I principali Stati Limite di Esercizio, di cui al §2.2 delle NTC2018, sono elencati nel seguito:

- danneggiamenti locali (ad es. eccessiva fessurazione del calcestruzzo) che possano ridurre la durabilità della struttura, la sua efficienza o il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano limitare l'uso della costruzione, la sua efficienza e il suo aspetto;
- spostamenti e deformazioni che possano compromettere l'efficienza e l'aspetto di elementi non strutturali, impianti, macchinari;
- vibrazioni che possano compromettere l'uso della costruzione;
- danni per fatica che possano compromettere la durabilità;
- corrosione e/o eccessivo degrado dei materiali in funzione dell'ambiente di esposizione.

### 7.2 VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA

Per la valutazione della sicurezza delle costruzioni si devono adottare criteri probabilistici scientificamente comprovati. Nel seguito sono normati i criteri del metodo semiprobabilistico agli stati limite basati sull'impiego

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 11 di 48 |

dei coefficienti parziali di sicurezza, applicabili nella generalità dei casi; tale metodo è detto di primo livello. Per opere di particolare importanza si possono adottare metodi di livello superiore, tratti da documentazione tecnica di comprovata validità.

Nel metodo semiprobabilistico agli stati limite, la sicurezza strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni. Per la sicurezza strutturale, la resistenza dei materiali e le azioni sono rappresentate dai valori caratteristici,  $R_{ki}$  e  $F_{kj}$  definiti, rispettivamente, come il frattile inferiore delle resistenze e il frattile (superiore o inferiore) delle azioni che minimizzano la sicurezza. In genere, i frattili sono assunti pari al 5%. Per le grandezze con piccoli coefficienti di variazione, ovvero per grandezze che non riguardino univocamente resistenze o azioni, si possono considerare frattili al 50% (valori mediani).

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite ultimi di resistenza si effettua con il "metodo dei coefficienti parziali" di sicurezza espresso dalla equazione formale:

$$R_d \geq E_d$$

Dove:

$R_d$  è la resistenza di progetto, valutata in base ai valori di progetto della resistenza dei materiali e ai valori nominali delle grandezze geometriche interessate;

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni, valutato in base ai valori di progetto  $F_{dj} = F_{kj} \cdot \gamma_{Fj}$  delle azioni, o direttamente  $E_{dj} = E_{kj} \cdot \gamma_{Ej}$ .

I coefficienti parziali di sicurezza,  $\gamma_{mi}$  e  $\gamma_{Fj}$ , associati rispettivamente al materiale i-esimo e all'azione j-esima, tengono in conto la variabilità delle rispettive grandezze e le incertezze relative alle tolleranze geometriche e alla affidabilità del modello di calcolo.

La verifica della sicurezza nei riguardi degli stati limite di esercizio si esprime controllando aspetti di funzionalità e stato tensionale.

### 7.3 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Le combinazioni previste sono destinate al controllo di sicurezza della struttura ed alla verifica degli spostamenti e delle sollecitazioni.

Si riportano le combinazioni delle azioni definite al §2.5.3 delle NTC2018.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica, o rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \Psi_{02} \cdot Q_{K2} + \Psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \Psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente, generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \Psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \Psi_{21} \cdot Q_{K1} + \Psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 12 di 48 |

Dove:

| <b>Destinazione d'uso/azione</b>                                            | <b><math>\psi_0</math></b> | <b><math>\psi_1</math></b> | <b><math>\psi_2</math></b> |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <i>Categoria A residenziali</i>                                             | 0,70                       | 0,50                       | 0,30                       |
| <i>Categoria B uffici</i>                                                   | 0,70                       | 0,50                       | 0,30                       |
| <i>Categoria C ambienti suscettibili di affollamento</i>                    | 0,70                       | 0,70                       | 0,60                       |
| <i>Categoria D ambienti ad uso commerciale</i>                              | 0,70                       | 0,70                       | 0,60                       |
| <i>Categoria E biblioteche, archivi, magazzini,...</i>                      | 1,00                       | 0,90                       | 0,80                       |
| <i>Categoria F Rimesse e parcheggi (autoveicoli <math>\leq 30kN</math>)</i> | 0,70                       | 0,70                       | 0,60                       |
| <i>Categoria G Rimesse e parcheggi (autoveicoli <math>&gt; 30kN</math>)</i> | 0,70                       | 0,50                       | 0,30                       |
| <i>Categoria H Coperture</i>                                                | 0,00                       | 0,00                       | 0,00                       |
| <i>Vento</i>                                                                | 0,60                       | 0,20                       | 0,00                       |
| <i>Neve a quota <math>\leq 1000 m</math></i>                                | 0,50                       | 0,20                       | 0,00                       |
| <i>Neve a quota <math>&gt; 1000 m</math></i>                                | 0,70                       | 0,50                       | 0,20                       |
| <i>Variazioni Termiche</i>                                                  | 0,60                       | 0,50                       | 0,00                       |

Tabella 7.1 Coefficienti di combinazione NTC18

Nelle combinazioni si intende che vengano omessi i carichi  $Q_{kj}$  che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi  $G_2$ .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.).

Nelle formule sopra riportate il simbolo "+" vuol dire "combinato con".

### 7.3.1 STATI LIMITE ULTIMI

Nelle verifiche possono essere adottati in alternativa due diversi approcci progettuali:

- per l'approccio 1 si considerano due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti di sicurezza parziali per le azioni, per i materiali e per la resistenza globale (combinazione 1 con coefficienti A1 e combinazione 2 con coefficienti A2);
- per l'approccio 2 si definisce un'unica combinazione per le azioni, per la resistenza dei materiali e per la resistenza globale (con coefficienti A1).

|                                                                  |             | <b>Coefficiente</b>          | <b>EQU</b> | <b>A1</b> | <b>A2</b> |
|------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------|------------|-----------|-----------|
|                                                                  |             | <b><math>\gamma_F</math></b> |            |           |           |
| <b>Carichi permanenti <math>G_1</math></b>                       | Favorevoli  | $\gamma_{G1}$                | 0,9        | 1,0       | 1,0       |
|                                                                  | Sfavorevoli |                              | 1,1        | 1,3       | 1,0       |
| <b>Carichi permanenti non strutturali <math>G_2^{(1)}</math></b> | Favorevoli  | $\gamma_{G2}$                | 0,8        | 0,8       | 0,8       |
|                                                                  | Sfavorevoli |                              | 1,5        | 1,5       | 1,3       |
| <b>Azioni variabili <math>Q</math></b>                           | Favorevoli  | $\gamma_{Q1}$                | 0,0        | 0,0       | 0,0       |
|                                                                  | Sfavorevoli |                              | 1,5        | 1,5       | 1,3       |

Tabella 7.2 Coefficienti parziali per azioni NTC18

Nel caso in cui l'azione sia costituita dalla spinta del terreno, per la scelta dei coefficienti parziali di sicurezza valgono le indicazioni riportate nel paragrafo successivo.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 13 di 48 |

### 7.3.2 PROGETTAZIONE GEOTECNICA

Nella valutazione della combinazione delle azioni i coefficienti parziali  $\gamma$  e di combinazione  $\psi_{ij}$  devono essere assunti come specificato nel paragrafo precedente.

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

1. in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella tabella successiva;
2. in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito;
3. sulla base di misure dirette su prototipi.

| Parametro                                    | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$                                       | $\gamma_{\varphi'}$              | 1,0  | 1,25 |
| Coesione efficace                            | $c'_k$                                                  | $\gamma_{c'}$                    | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$                                                | $\gamma_{cu}$                    | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma_\gamma$                                         | $\gamma_\gamma$                  | 1,0  | 1,0  |

Tabella 7.3 Coefficienti parziali per parametri geotecnici NTC18

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 14 di 48 |

## 8 VERIFICA DEL MURO TIRANTATO (sez. A)

### 8.1 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

La verifica del muro tirantato è stata condotta considerando il caso più sfavorevole, corrispondente a un'altezza di scavo pari a 3.50 m, analizzata nelle combinazioni di carico più gravose, sia agli Stati Limite Ultimi (SLU) che agli Stati Limite di Esercizio (SLE).

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo del software ParatiePlus, che ha consentito la modellazione dell'interazione terreno-struttura, tenendo conto delle caratteristiche geotecniche del sito e delle condizioni al contorno.

Di seguito si riporta una rappresentazione del modello di calcolo impiegato:

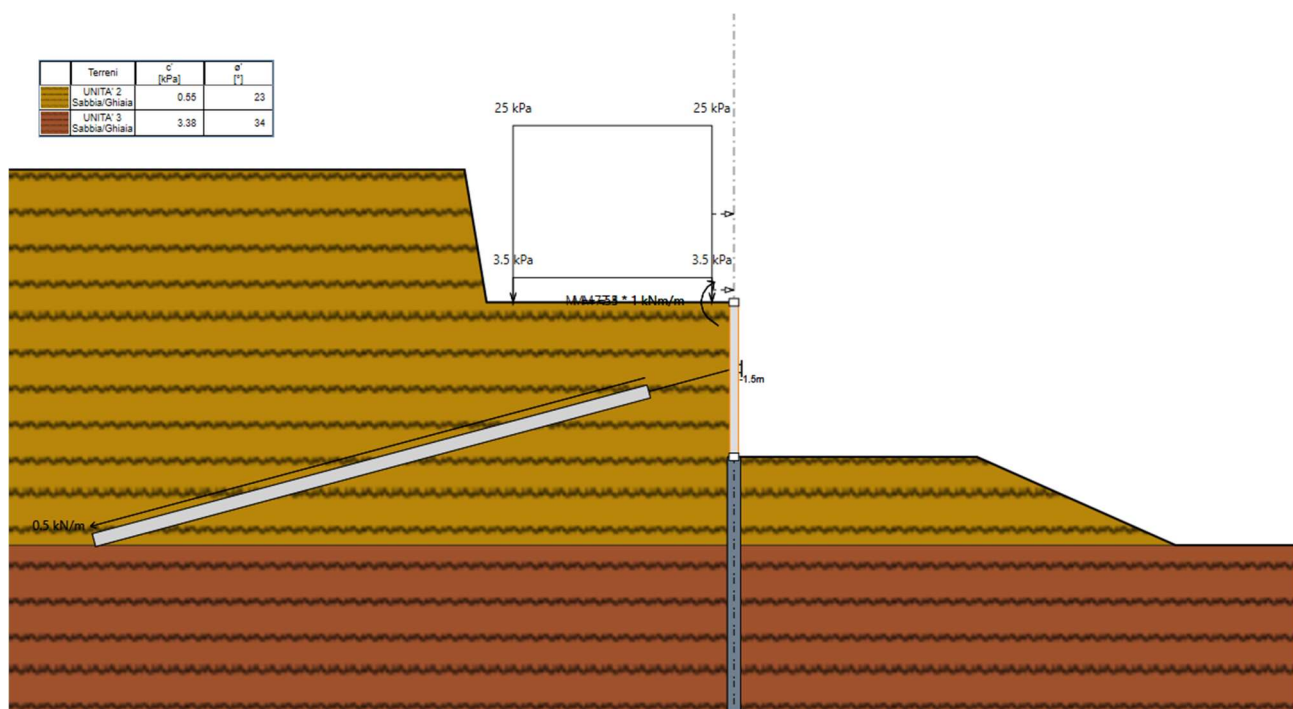


Figura 8.1 Modello di calcolo sezione A

I carichi esterni applicati nel modello sono definiti nei paragrafi precedenti. È stato aggiunto un momento in testa al palo pari a  $7.5+3 = 10.5$  kNm dato dai contributi flettenti  $g_2+q$  del parapetto (spinta e peso) del peso del marciapiede e del carico folla previsto su di esso.

### 8.2 VERIFICA MICROPALO

Dal calcolo eseguito con i software si ricavano le seguenti sollecitazioni, illustrate nell'immagine seguente:

- Diagramma momento sollecitante (in verde)
- Diagramma taglio sollecitante (in blu)
- Azione sul tirante

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 15 di 48 |

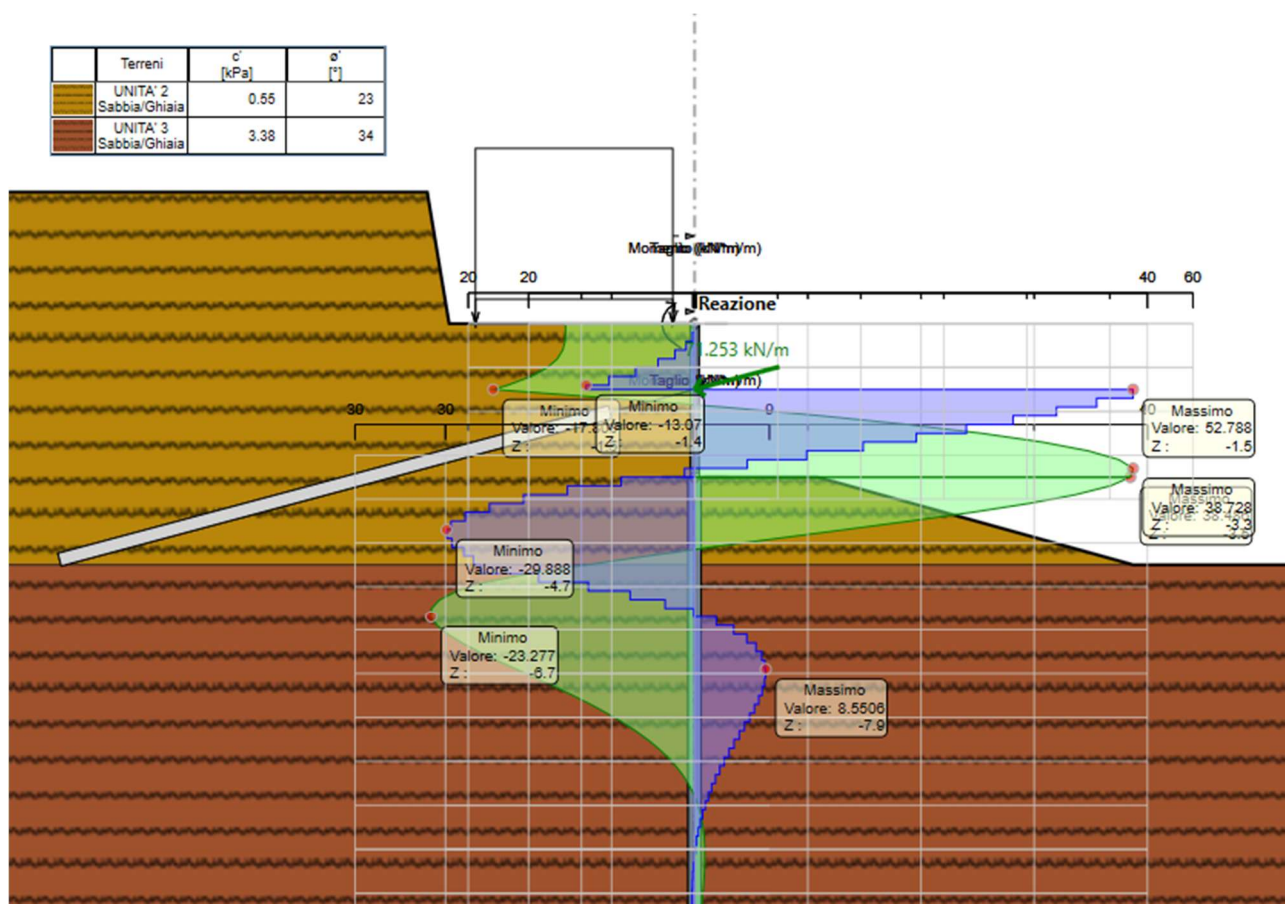


Figura 8.2 Sollecitazioni sul muro in condizione finale (sezione A)

Il momento e taglio massimi nel micropalo sono rispettivamente  $38.49 \text{ kNm/m} \times 0.6 \text{ m} = 23.09 \text{ kNm}$  e  $29.89 \text{ kN/m} \times 0.6 \text{ m} = 17.93 \text{ kN}$ , dove  $0.6 \text{ m}$  rappresenta il passo dei micropali. Si procede quindi alle verifiche strutturali.

| AZIONI   |                         |                                              |  |
|----------|-------------------------|----------------------------------------------|--|
| $N_{Sd}$ | 0.00                    | KN                                           |  |
| $M_{Sd}$ | 19.27                   | KNm                                          |  |
| $V_{Sd}$ | 17.93                   | KN                                           |  |
| PROFILO  |                         |                                              |  |
| Sezione  | Ø 193.7 x 12.5          |                                              |  |
| D        | 193.70 mm               | Diametro esterno                             |  |
| t        | 12.50 mm                | Spessore sezione                             |  |
| A        | 71.16 cm <sup>2</sup>   | Area                                         |  |
| $I_y$    | 2934.31 cm <sup>4</sup> | Momento di inerzia (intorno all'asse forte)  |  |
| $I_z$    | 2934.31 cm <sup>4</sup> | Momento di inerzia (intorno all'asse debole) |  |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 16 di 48 |

|            |                        |                                                         |
|------------|------------------------|---------------------------------------------------------|
| $W_{EL,Y}$ | 302.97 cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza elastico (intorno all'asse forte)  |
| $W_{EL,Z}$ | 302.97 cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza elastico (intorno all'asse debole) |
| $W_{PL,Y}$ | 411.07 cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza plastico (intorno all'asse forte)  |
| $W_{PL,Z}$ | 411.07 cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza plastico (intorno all'asse debole) |
| $i_y$      | 6.42 cm                | Raggio giratore di inerzia (intorno all'asse forte)     |
| $i_z$      | 6.42 cm                | Raggio giratore di inerzia (intorno all'asse debole)    |

| ACCIAIO       |           |     |                                  |  |
|---------------|-----------|-----|----------------------------------|--|
| Classe        | S         | 355 |                                  |  |
| $\gamma_{M0}$ | 1.05      |     |                                  |  |
| $\gamma_{M1}$ | 1.05      |     |                                  |  |
| $f_{yk}$      | 355.00    | MPa | Resistenza caratteristica        |  |
| E             | 210000.00 | MPa | Modulo elastico                  |  |
| $\nu$         | 0.30      |     |                                  |  |
| G             | 80769.23  | MPa | Modulo di elasticità trasversale |  |

| VERIFICA A TAGLIO                                       |         |                                           |                                                                  |                    |
|---------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------|
| $A_v$                                                   | 45.30   | cm <sup>2</sup>                           | Area di taglio per taglio verticale (lungo Y)                    |                    |
| $V_{C,Rd}$                                              | 884.25  | KN                                        | Resistenza a taglio                                              |                    |
| $V_{Sd} / V_{C,Rd}$                                     | 0.02    | ≤                                         | 1                                                                | Indice di verifica |
| Esito                                                   | OK      |                                           |                                                                  |                    |
| FS                                                      | 49.32   | Coefficiente di sicurezza                 |                                                                  |                    |
| VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO / TENSO FLESSIONE RETTA |         |                                           |                                                                  |                    |
| $\%(V_{Sd} / V_{C,Rd})$                                 | 2.03%   | ≤                                         | 50.00%                                                           |                    |
| Esito                                                   | OK      | Ridurre la resistenza se maggiore del 50% |                                                                  |                    |
| $N_{PL,Rd}$                                             | 2405.79 | KN                                        | Resistenza plastica della sezione lorda                          |                    |
| n                                                       | 0.00    | Rapporto $N_{Sd} / N_{PL,Rd}$             |                                                                  |                    |
| $b_{eq}$                                                | 154.81  | mm                                        | Lato di una sezione scatolare quadrata di spessore t e di area A |                    |
| a                                                       | 0.46    | Formula 4.2.38 usando $b_{eq}$ , A e t    |                                                                  |                    |
| $M_{PL,Y,Rd}$                                           | 138.98  | KNm                                       | Momento resistente plastico a flessione attorno a Y (asse forte) |                    |
| $M_{N,Y,Rd}$                                            | 138.98  | KNm                                       | Momento resistente convenzionale attorno a Y (asse forte)        |                    |
| $M_{Sd} / M_{N,Y,Rd}$                                   | 0.14    | ≤                                         | 1                                                                | Indice di verifica |
| Esito                                                   | OK      |                                           |                                                                  |                    |
| FS                                                      | 7.21    | Coefficiente di sicurezza                 |                                                                  |                    |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 17 di 48 |

## 8.3 VERIFICA MURO

### 8.3.1 Verifica a flessione e taglio

Vengono ricavate le azioni interne su muro di contenimento dal modello di Paratie Plus. Il massimo valore di momento flettente e taglio sono i seguenti:

$$M_{Ed} = 33.086 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 52.69 \text{ kNm}$$

#### Verifica a flessione

La verifica a flessione della sezione è effettuata mediante l'utilizzo software VCA-SLU, considerando una sezione di parete unitaria.

Si sceglie un'armatura verticale costituita da Ø12/15. Si ottiene un momento resistente per la sezione unitaria pari a 44.72 kNm, pertanto la verifica è soddisfatta ( $FS = 44.73/33.086 = 1.35 > 1$ ).

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  **Zoom**      N° strati barre  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 20     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7.54     | 4.8    |
| 2  | 7.54     | 14.2   |

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 ε<sub>su</sub>  ‰ ε<sub>c2</sub>  ‰  
 f<sub>yd</sub>  N/mm² ε<sub>cu</sub>  ‰  
 E<sub>s</sub>  N/mm² f<sub>cd</sub>  N/mm²  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub>  f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub>  ?  
 ε<sub>syd</sub>  ‰ σ<sub>c,adm</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s,adm</sub>  N/mm² τ<sub>co</sub>  N/mm²  
 τ<sub>c1</sub>  N/mm²

M<sub>xRd</sub>  kN m  
 σ<sub>c</sub>  N/mm²  
 σ<sub>s</sub>  N/mm²  
 ε<sub>c</sub>  ‰  
 ε<sub>s</sub>  ‰  
 d  cm  
 x  x/d   
 δ

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.   
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 L<sub>0</sub>  cm **Col. modello**  
**M-curvatura**  
☐ Precompresso

#### Verifica a taglio

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 18 di 48 |

Si effettuano le verifiche al taglio per sezioni non armate a taglio, come specificato nelle NTC18:

#### 4.1.2.3.5.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

Se, sulla base del calcolo, non è richiesta armatura al taglio, è comunque necessario disporre un'armatura minima secondo quanto previsto al punto 4.1.6.1.1. E' consentito omettere tale armatura minima in elementi quali solai, piastre e membrature a comportamento analogo, purché sia garantita una ripartizione trasversale dei carichi.

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad [4.1.22]$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di progetto dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'elemento fessurato da momento flettente, la resistenza di progetto a taglio si valuta con

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[ 0,18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{\min} + 0,15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w d \right\} \quad [4.1.23]$$

con

$f_{ck}$  espresso in MPa

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$$

e dove

$d$  è l'altezza utile della sezione (in mm);

$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d)$  è il rapporto geometrico di armatura longitudinale tesa ( $\leq 0,02$ ) che si estende per non meno di  $(l_{ba} + d)$  oltre la sezione considerata, dove  $l_{ba}$  è la lunghezza di ancoraggio;

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$  [MPa] è la tensione media di compressione nella sezione ( $\leq 0,2 f_{cd}$ );

$b_w$  è la larghezza minima della sezione (in mm).

| MURO (t=20cm)               |                |                   |
|-----------------------------|----------------|-------------------|
| $b_w$ [mm]                  | $d$ [mm]       | $k$ [ - ]         |
| 1000                        | 200            | 2.000             |
|                             |                | $f_{ck}$ [MPa]    |
|                             |                | $\gamma_c$ [ - ]  |
|                             |                | 32                |
|                             |                | 1.5               |
| $A_{sl}$ [mm <sup>2</sup> ] | $\rho_l$ [ - ] | $V^*_{Rd}$ [kN]   |
| 754.36                      | 0.38%          | 110.11            |
| $V_{Ed}$ [kN]               | $V_{Rd}$ [kN]  | $V_{Rd} / V_{Ed}$ |
| 52.69                       | 112.00         | 2.13              |

La verifica è soddisfatta ( $FS = 2.13 > 1$ ).

## 8.3.2 Punzonamento

La rottura per punzonamento si verifica in corrispondenza di carichi concentrati, in questo caso all'interfaccia muro-testa chiodo tirante, quando l'armatura o lo spessore della sezione in c.a. possono non essere sufficienti a contrastare le elevate tensioni tangenziali attorno alla zona di applicazione del carico. Il fenomeno è fragile e localizzato, pertanto deve essere attentamente verificato.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 19 di 48 |

La verifica è condotta secondo quanto prescritto al § 4.1.2.3.5.4 delle NTC 2018 e alla Circolare esplicativa n. 7 del 2019, che richiamano a loro volta i metodi di calcolo dell'Eurocodice 2 (UNI EN 1992-1-1).

Si procede alla verifica del muro rispetto al punzonamento indotto dal tirante, al fine di assicurare che le sollecitazioni trasmesse non superino la capacità resistente locale del calcestruzzo e dell'armatura.

Il valore di sforzo puntuale ottenuto dal modello di Paratie Plus è pari a:  $72.874 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} = 143.75 \text{ kN}$ , dove 2 m corrisponde al passo dei tiranti.

Di seguito l'analisi a punzonamento del muro.

### PUNZONAMENTO PIASTRA PIENA (EC2 + App. Nazionale)

|                                                       |        |     |                                                                                     |              |                   |
|-------------------------------------------------------|--------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>NORMATIVA</b>                                      |        |     | <b>Acciaio barre di armatura</b>                                                    |              |                   |
| EC2 §6.4 - NTC2018 §4.1.2.3.5.4                       |        |     | $f_{yk} =$                                                                          | 450          | MPa               |
|                                                       |        |     | $\gamma_s =$                                                                        | 1            |                   |
|                                                       |        |     | $f_{yd} =$                                                                          | 450.0        | MPa               |
| <b>Calcestruzzo</b>                                   |        |     | <b>Geometria e Posizione Pilastro</b>                                               |              |                   |
| Classe                                                | C32/40 |     | Forma                                                                               | Rettangolare |                   |
| $R_{ck} =$                                            | 40     | MPa | $F_{colonna} \text{ (mm)} =$                                                        | 0            |                   |
| $f_{ck} =$                                            | 32     | MPa | $L_x \text{ (mm)} =$                                                                | 200          |                   |
| $f_{cd} =$                                            | 21     | MPa | $L_y \text{ (mm)} =$                                                                | 200          |                   |
| $\alpha_{cc} =$                                       | 1      |     | Posizione                                                                           | Interno      |                   |
| $\gamma_c =$                                          | 1.5    |     | $\beta =$                                                                           | 1.15         |                   |
| $d =$                                                 | 148    | mm  | $B_{bordo} - x \text{ (mm)} =$                                                      | 0            | dist. netta dir X |
| <b>Geometria piastra</b>                              |        |     | $B_{bordo} - y \text{ (mm)} =$                                                      | 0            | dist. netta dir Y |
| $H =$                                                 | 200    | mm  | <b>Sollecitazioni (N centrata)</b>                                                  |              |                   |
| $c =$                                                 | 40     | mm  | $N_{SLU} =$                                                                         | 143.75       | KN                |
| <b>Armatura direzione X</b>                           |        |     | $Sc_x \text{ (precomp)} =$                                                          | 0            | MPa               |
| $n \text{ ferri /m in } x =$                          | 6.67   |     | $Sc_y \text{ (precomp)} =$                                                          | 0            | MPa               |
| $\Phi x =$                                            | 12     | mm  | <b><math>V_{rd,max}</math> in adiacenza pilastro (perimetro "<math>u_0</math>")</b> |              |                   |
| $As_x =$                                              | 754    | mmq | $v =$                                                                               | 0.500        |                   |
| $dx =$                                                | 154    | mm  | $V_{rd,max} =$                                                                      | 4.267        | MPa               |
| <b>Armatura direzione Y</b>                           |        |     | <b>Verifica in adiacenza pilastro (perimetro "<math>u_0</math>")</b>                |              |                   |
| $n \text{ ferri /m in } y =$                          | 6.67   |     | $V_{e,d} =$                                                                         | 1.396        | MPa               |
| $\Phi y =$                                            | 12     | mm  | $F_s =$                                                                             | 3.06         | OK                |
| $As_y =$                                              | 754    | mmq | <b><math>V_{rd,cs}</math> lungo il perim. di verifica "<math>u_1</math>"</b>        |              |                   |
| $dy =$                                                | 142    | mm  | <b>Armatura a taglio non necessaria</b>                                             |              |                   |
| <b>Calcolo lunghezza perimetro "<math>u_0</math>"</b> |        |     | $f_{ywd,eff} =$                                                                     | 287.0        | MPa               |
| $u_{0,rettangolare} =$                                | 800    | mm  | $f \text{ barra punz (mm)} =$                                                       | 12           | OK                |
| $u_{0,circolare} =$                                   | 0      | mm  |                                                                                     |              |                   |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 20 di 48 |

|                                                                                                  |        |     |                                                    |       |       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|----------------------------------------------------|-------|-------|
| <b>V<sub>rd,c</sub> lungo il perim. di verifica "u<sub>1</sub>",<br/>Senza armatura a taglio</b> |        |     | n° barre =                                         | 12    |       |
| $\rho_{ix}$ =                                                                                    | 0.0049 |     | s <sub>t</sub> (mm) =                              | /     | OK    |
| $\rho_{iy}$ =                                                                                    | 0.0053 |     | s <sub>r</sub> (mm) =                              | 220   | OK    |
| $\rho_i$ =                                                                                       | 0.0051 |     | A <sub>sw</sub> =                                  | 1357  | mmq   |
| k ( $\leq 2.0$ ) =                                                                               | 2.000  |     | $\alpha$ angolo barre punz =                       | 90    | gradi |
| k <sub>1</sub> =                                                                                 | 0.100  |     | u <sub>1</sub> (mm) =                              | 2660  |       |
| Scp (precomp) =                                                                                  | 0      | MPa | V <sub>rd,cs</sub> =                               | /     | MPa   |
| C <sub>rd,c</sub> =                                                                              | 0.12   |     | <b>Verifica lungo il perimetro "u<sub>1</sub>"</b> |       |       |
| V <sub>min</sub> =                                                                               | 0.560  |     | V <sub>e,d</sub> =                                 | 0.420 | MPa   |
| V <sub>rd,c</sub> =                                                                              | 0.609  | MPa | F <sub>s</sub> =                                   | 1.45  | OK    |
| <b>Calcolo lunghezza perimetro "u<sub>1</sub>"</b>                                               |        |     | U <sub>out</sub> =                                 | 1835  | mm    |
| U <sub>1,Rettangolare</sub> =                                                                    | 2660   | mm  | d <sub>out,rettangolare</sub> =                    | 165   | mm    |
| U <sub>1,Circolare</sub> =                                                                       | 0      | mm  | d <sub>out,circolare</sub> =                       | 0     | mm    |
|                                                                                                  |        |     | n° file arm ( $\geq 2$ ) =                         | /     |       |

## 8.1 VERIFICA TIRANTE

Le verifiche relative ai tiranti sono state eseguite conformemente a quanto previsto dal capitolo 6.6 delle NTC18. Tali verifiche mirano a garantire la sicurezza e l'efficacia degli elementi di ancoraggio, valutando la resistenza a trazione, la corretta trasmissione delle sollecitazioni e la durabilità nel tempo.

Considerando lo stesso carico descritto nel paragrafo precedente per la verifica a punzonamento del muro si ottiene:

|                                                |            |    |                                     |               |     |
|------------------------------------------------|------------|----|-------------------------------------|---------------|-----|
| <b>Caratteristiche geom. opera di sostegno</b> |            |    | <b>Sollecitazioni</b>               |               |     |
| Altezza scavo h =                              | 3.5        | m  | N <sub>SLU</sub>                    | 143.75        | KN  |
| prof. di infissione t =                        | 14.5       | m  | N <sub>SLE</sub>                    | 105.9         | KN  |
| spessore opera s =                             | 0.3        | m  | ag/g                                | 0.188         |     |
| <b>Caratteristiche Geometriche del tirante</b> |            |    | <b>Caratteristiche del terreno</b>  |               |     |
| Durata di progetto                             | Permanente |    | Tipo terreno                        | sabbia limosa |     |
| L libera =                                     | 2.0        | m  | NSPT (medio)                        | 35            |     |
| L bulbo =                                      | 13.0       | m  | NSPT (minimo)                       | 8             |     |
| L totale =                                     | 15.0       | m  | a =                                 | 1.1           |     |
| n° trefoli =                                   | 1          |    | Numero di verticali                 | 2             |     |
| d perf =                                       | 200        | mm | Angolo di attrito f (°) =           | 23            |     |
| Tipo di iniezione                              | IGU        |    | <b>Materiale - acciaio armonico</b> |               |     |
| Affondam. tirante h <sub>1</sub> =             | 0.74       | m  | Area trefolo                        | 804.25        | mmq |
| angolo inclin. q (°) =                         | 15         |    | f <sub>p(1)k</sub> =                | 500           | MPa |
| Precarico - N <sub>tiro</sub> (KN) =           | 1          | OK | g <sub>m</sub> =                    | 1.15          |     |
| Tiro di bloccaggio (KN) =                      | 5          |    | f <sub>sd</sub> (SLU) =             | 435           | MPa |
| Tiro di collaudo (KN) =                        | 140        |    |                                     |               |     |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 21 di 48 |

| Verifica lunghezza libera |      |  |
|---------------------------|------|--|
| LL (m)                    | 1.91 |  |

| Verifica bulbo di fondazione (SLU) |        |     |
|------------------------------------|--------|-----|
| $t_{lim}$ (medio)                  | 0.175  | MPa |
| $t_{lim}$ (minimo)                 | 0.04   | MPa |
| Coeff. Efficienza                  | 1      |     |
| $z_{a3}$ (§6.6.2.NTC2008)          | 1.75   |     |
| $z_{a4}$ (§6.6.2.NTC2008)          | 1.7    |     |
| Portata max fondazione             | 211    | KN  |
| $g_R$ (§6.6.2 NTC2008)             | 1.2    |     |
| $R_{td}$                           | 176    | KN  |
| $F_s = R_{td} / N_{SLU}$           | 1.22   | OK  |
| $Q_{lim}$                          | 861.06 |     |

| Verifica adesione malta-terreno |      |    |
|---------------------------------|------|----|
| $f_{equival}$                   | 38   | mm |
| $FS_2$                          | 1.3  |    |
| $R_{md}$ (KN)                   | 1231 | OK |

|                          |     |     |
|--------------------------|-----|-----|
| $s_s$ (tasso nom. ese) = | 400 | MPa |
| $s_e$ (Tens. Max. ese) = | 360 | MPa |

| Materiale - Malta di iniezione |        |     |
|--------------------------------|--------|-----|
| Classe                         | C20/25 |     |
| $R_{ck}$ =                     | 25     | MPa |
| $f_{ck}$ =                     | 20     | MPa |
| $t_2$ =                        | 1.03   | MPa |

| Verifica lato acciaio - SLU |      |    |
|-----------------------------|------|----|
| $R_{sd}$ - SLU              | 350  | KN |
| $F_s$                       | 2.43 | OK |

| Verifica lato acciaio - SLE |      |    |
|-----------------------------|------|----|
| $T_E$ - SLE                 | 290  | KN |
| $F_s$                       | 2.73 | OK |

| Verifica gerarchia delle resistenze |  |    |
|-------------------------------------|--|----|
| $\min(R_{td}; R_{md}) < R_{sd}$     |  | OK |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 22 di 48 |

## 8.1 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 8.1.1 Verifica a stabilità globale

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata attraverso il software Paratie Plus secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Si illustrano di seguito le superfici critiche analizzate e i relativi coefficienti di sicurezza per le prime 10 combinazioni più gravose nella configurazione finale del pendio.

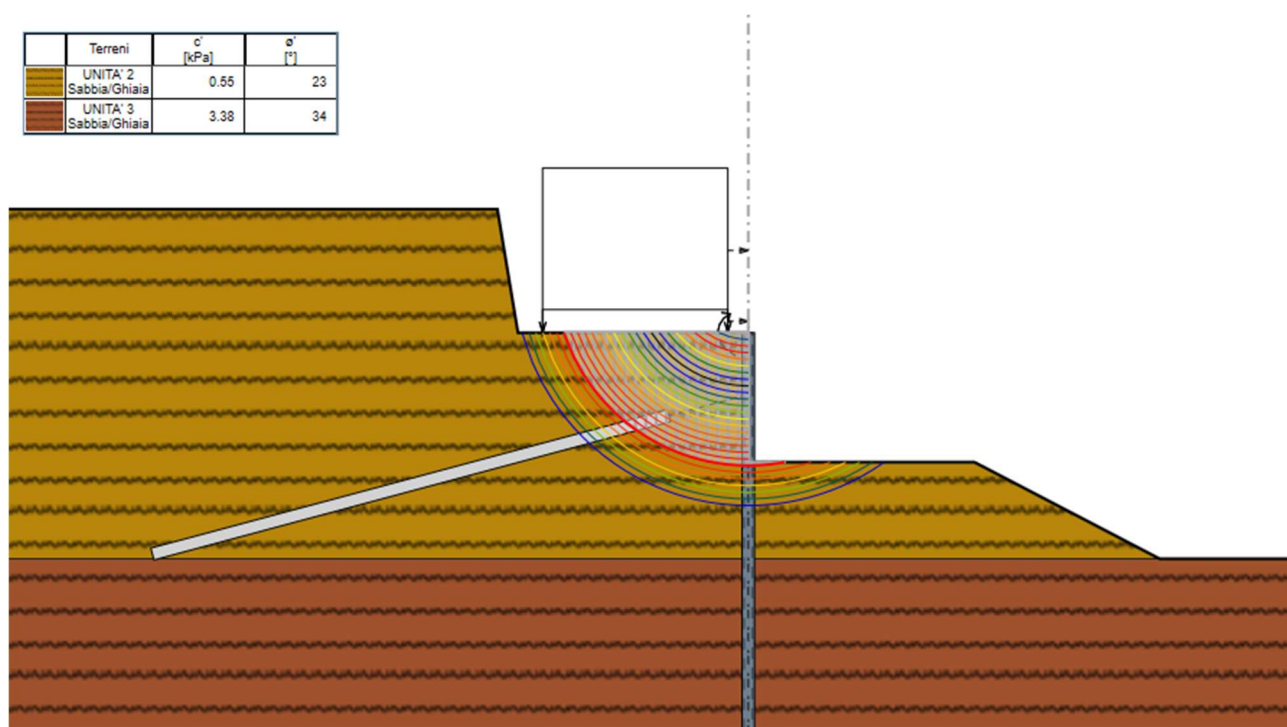


Figura 8.3 Superfici critiche analizzate in configurazione finale (in rosso il piano di scorrimento con coefficiente di sicurezza minore)

| Clas. | Fs    | Fs/ $\gamma_R$ | DIR | alpha | $\lambda$ | X | Z   | R      |
|-------|-------|----------------|-----|-------|-----------|---|-----|--------|
| VALID | 1.1   | 1              | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.7323 |
| VALID | 1.1   | 1              | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 1.9848 |
| VALID | 1.102 | 1.0018         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.5707 |
| VALID | 1.109 | 1.0082         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.4091 |
| VALID | 1.11  | 1.0091         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 1.8232 |
| VALID | 1.115 | 1.0136         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.8939 |
| VALID | 1.119 | 1.0173         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.2475 |
| VALID | 1.132 | 1.0291         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 4.0859 |
| VALID | 1.14  | 1.0364         | -1  | 1     | 0         | 0 | 1.5 | 5.0556 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 23 di 48 |

|       |      |        |    |   |   |   |     |        |
|-------|------|--------|----|---|---|---|-----|--------|
| VALID | 1.14 | 1.0364 | -1 | 1 | 0 | 0 | 1.5 | 2.1465 |
|-------|------|--------|----|---|---|---|-----|--------|

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 24 di 48 |

## 9 VERIFICA DEL MURO A MENSOLA (sez. B)

### 9.1 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Di seguito si riportano le verifiche relative agli elementi strutturali principali della struttura. Le verifiche sono raggruppate per tipologia di elementi tipo e ne viene riportata la condizione caso per caso più sfavorevole.

#### 9.1.1 Parete

Vengono calcolate le azioni interne alla base della parete, presa una porzione metrica, su cui grava la spinta del terreno.

Di seguito le azioni interne dovute ai singoli carichi, per la combinazione più sfavorevole (SLU):

|                         | CARICO<br>[kN/m] | AZIONI INTERNE IMPOSTA PARETE |       |       |        |       |         |       |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|
|                         |                  | gamma                         | vert? | N     | orizz? | T     | braccio | M     |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 1.00                          | 1     | 10.00 | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00  |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 5.00             | 1.00                          | 1     | 5.00  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00  |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 1.00                          | 1     | 1.50  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00  |
| CARICO FOLLA            | 2.50             | 1.00                          | 1     | 2.50  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00  |
| AZIONE SU PARAPETTO     | 1.50             | 1.35                          | 0     | 0.00  | 0      | 0.00  | 2.70    | 5.47  |
| SPINTA TERRENO          | 8.07             | 1.30                          | 0.342 | 3.59  | 0.940  | 9.86  | 0.36    | 3.82  |
| SPINTA PACCH. STR.      | 6.50             | 1.30                          | 0.342 | 2.89  | 0.940  | 7.94  | 0.57    | 4.80  |
| SPINTA TRAFFICO         | 16.25            | 1.35                          | 0.342 | 7.50  | 0.940  | 20.61 | 0.57    | 12.46 |

#### Verifica a presso-flessione

Azioni di progetto:  $N_{Ed} = 32.98 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 26.55 \text{ kNm}$

Si sceglie un'armatura verticale costituita da Ø12/15. Si ottiene un momento resistente per la sezione unitaria pari a 86.64 kNm, pertanto la verifica è soddisfatta ( $FS = 62.43/26.55 = 2.35 > 1$ ).

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 25 di 48 |

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 25     | 1  | 7,54     | 4,8    |
|    |        |        | 2  | 7,54     | 20,2   |

**Sollecitazioni**  
☒ S.L.U. ☐ Metodo n

**N** Ed  **kN**  
**M** xEd  **19,91** kNm  
**M** yEd  **0**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$  **67,5** ‰  $\epsilon_{c2}$  **2** ‰  
 $f_{yd}$  **391,3** N/mm²  $\epsilon_{cu}$  **3,5** ‰  
 $E_s$  **200.000** N/mm²  $f_{cd}$  **18,13** ‰  
 $E_s/E_c$  **15**  $f_{cc}/f_{cd}$  **0,8** ?  
 $\epsilon_{syd}$  **1,957** ‰  $\sigma_{c,adm}$  **12,25**  
 $\sigma_{s,adm}$  **255** N/mm²  $\tau_{co}$  **0,7333**  
 $\tau_{c1}$  **2,114**

**M** xRd **62,43** kN m  
 $\sigma_c$  **-18,13** N/mm²  
 $\sigma_s$  **391,3** N/mm²  
 $\epsilon_c$  **3,5** ‰  
 $\epsilon_s$  **17,08** ‰  
 d **20,2** cm  
 x **3,435** x/d **0,1701**  
 $\delta$  **0,7**

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☐ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

**N° rett.**   
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
**L<sub>0</sub>**  cm **Col. modello**  
**M-curvatura**  
☐ Precompresso

### Verifica a taglio

Taglio di progetto:

$$V_{Ed} = 38.41 \text{ kN}$$

Si effettuano le verifiche al taglio per sezioni non armate a taglio, come specificato nelle NTC18:

| IMPOSTA PARETE (t=25cm)            |                      |                                   |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| b <sub>w</sub> [mm]                | d [mm]               | k [ - ]                           |
| 1000                               | 250                  | 1.894                             |
|                                    |                      |                                   |
| f <sub>ck</sub> [MPa]              |                      | γ <sub>c</sub> [ - ]              |
| 32                                 |                      | 1.5                               |
|                                    |                      |                                   |
| A <sub>sl</sub> [mm <sup>2</sup> ] | ρ <sub>l</sub> [ - ] | V* <sub>Rd</sub> [kN]             |
| 754.36                             | 0.30%                | 121.02                            |
|                                    |                      |                                   |
| V <sub>Ed</sub> [kN]               | V <sub>Rd</sub> [kN] | V <sub>Rd</sub> / V <sub>Ed</sub> |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 26 di 48 |

|       |        |      |
|-------|--------|------|
| 38.41 | 129.06 | 3.36 |
|-------|--------|------|

La verifica è soddisfatta ( $FS = 3.36 > 1$ ).

Verifiche agli Stati Limite di Esercizio (tensione e fessurazione)

In combinazione RARA si hanno all'ipotesi della parete le seguenti azioni interne:

| comb. RARA              | CARICO<br>[kN/m] | AZIONI INTERNE IMPOSTA PARETE |       |       |        |       |         |      |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|-------|---------|------|
|                         |                  | gamma                         | vert? | N     | orizz? | T     | braccio | M    |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 1.00                          | 1     | 10.00 | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00 |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 5.00             | 1.00                          | 1     | 5.00  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00 |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 1.00                          | 1     | 1.50  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00 |
| CARICO FOLLA            | 2.50             | 1.00                          | 1     | 2.50  | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00 |
| AZIONE SU PARAPETTO     | 1.50             | 1.00                          | 0     | 0.00  | 0      | 0.00  | 2.70    | 4.05 |
| SPINTA TERRENO          | 8.07             | 1.00                          | 0.342 | 2.76  | 0.940  | 7.58  | 0.36    | 2.94 |
| SPINTA PACCH. STR.      | 6.50             | 1.00                          | 0.342 | 2.22  | 0.940  | 6.11  | 0.57    | 3.69 |
| SPINTA TRAFFICO         | 16.25            | 1.00                          | 0.342 | 5.56  | 0.940  | 15.27 | 0.57    | 9.23 |

$N_{Erara} = 10 \text{ kN}$  (si considera cautelativamente solo il contributo del peso parete)

$M_{Erara} = 19.91 \text{ kN}$

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 27 di 48 |

**Titolo :**   
**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 25     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7,54     | 4,8    |
| 2  | 7,54     | 20,2   |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n

| N | Ed  | 0 | 0     | kN  |
|---|-----|---|-------|-----|
| M | xEd | 0 | 19,91 | kNm |
| M | yEd | 0 | 0     |     |

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  18,13 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{c1}$  2,114

$\sigma_c$  -3,706 N/mm²  
 $\sigma_s$  145,3 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,7263 ‰  
 d 20,2 cm  
 x 5,591 x/d 0,2768  
 $\delta$  0,786

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☐ Precompresso

In comb. rara risultano soddisfatti i più stringenti requisiti richiesti dalle NTC18 in comb. quasi permanente:

-  $\sigma_c = 3.71 \text{ MPa} \leq 0.45 f_{ck} = 14.4 \text{ MPa}$

La tensione massima  $\sigma_{s,max}$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica, rispetta la limitazione imposta dalle NTC18:

-  $\sigma_{s,max} = 145.3 \leq 360.0 \text{ MPa}$

In combinazione frequente e quasi permanente si hanno all'ipotesi della parete le seguenti azioni interne:

| comb. FREQUENTE         | CARICO<br>[kN/m] | AZIONI INTERNE IMPOSTA PARETE |       |       |        |      |         |      |
|-------------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|--------|------|---------|------|
|                         |                  | gamma                         | vert? | N     | orizz? | T    | braccio | M    |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 1.00                          | 1     | 10.00 | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 5.00             | 1.00                          | 1     | 5.00  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 1.00                          | 1     | 1.50  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| CARICO FOLLA            | 2.50             | 0.75                          | 1     | 1.88  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 28 di 48 |

|                     |       |      |       |      |       |       |      |      |
|---------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|------|
| AZIONE SU PARAPETTO | 1.50  | 0.75 | 0     | 0.00 | 0     | 0.00  | 2.70 | 3.04 |
| SPINTA TERRENO      | 8.07  | 1.00 | 0.342 | 2.76 | 0.940 | 7.58  | 0.36 | 2.94 |
| SPINTA PACCH. STR.  | 6.50  | 1.00 | 0.342 | 2.22 | 0.940 | 6.11  | 0.57 | 3.69 |
| SPINTA TRAFFICO     | 16.25 | 0.75 | 0.342 | 4.17 | 0.940 | 11.45 | 0.57 | 6.92 |

$N_{Efreq} = 27.53 \text{ kN}$

$M_{Efreq} = 16.59 \text{ kNm}$

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 25     | 1  | 7,54     | 4,8    |
|    |        |        | 2  | 7,54     | 20,2   |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Sollecitazioni**  
S.L.U. ☒ Metodo n  
N<sub>Ed</sub>  27,53 kN  
M<sub>xEd</sub>  16,59 kNm  
M<sub>yEd</sub>  0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**  

**B450C**  
 $\epsilon_{su}$  67,5 ‰  
 $f_{yd}$  391,3 N/mm²  
 $E_s$  200.000 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  
 $\epsilon_{syd}$  1,957 ‰  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²

**C32/40**  
 $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $\epsilon_{cu}$  3,5  
 $f_{cd}$  18,13  
 $f_{cc}/f_{cd}$  0,8  
 $\sigma_{c,adm}$  12,25  
 $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{cl}$  2,114

$\sigma_c$  -3,07 N/mm²  
 $\sigma_s$  102,1 N/mm²  
 $\epsilon_s$  0,5107 ‰  
d 20,2 cm  
x 6,278 x/d 0,3108  
 $\delta$  0,8285

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
N° iterazioni:

☐ Precompresso

| comb. QUASI PERMANENTE  | CARICO [kN/m] | AZIONI INTERNE IMPOSTA PARETE |       |       |        |      |         |      |
|-------------------------|---------------|-------------------------------|-------|-------|--------|------|---------|------|
|                         |               | gamma                         | vert? | N     | orizz? | T    | braccio | M    |
| PESO PARETE MURO        | 10.00         | 1.00                          | 1     | 10.00 | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 5.00          | 1.00                          | 1     | 5.00  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| PESO PARAPETTO          | 1.50          | 1.00                          | 1     | 1.50  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |
| CARICO FOLLA            | 2.50          | 0.00                          | 1     | 0.00  | 0      | 0.00 | 0.00    | 0.00 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 29 di 48 |

|                     |       |      |       |      |       |      |      |      |
|---------------------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| AZIONE SU PARAPETTO | 1.50  | 0.00 | 0     | 0.00 | 0     | 0.00 | 2.70 | 0.00 |
| SPINTA TERRENO      | 8.07  | 1.00 | 0.342 | 2.76 | 0.940 | 7.58 | 0.36 | 2.94 |
| SPINTA PACCH. STR.  | 6.50  | 1.00 | 0.342 | 2.22 | 0.940 | 6.11 | 0.57 | 3.69 |
| SPINTA TRAFFICO     | 16.25 | 0.00 | 0.342 | 0.00 | 0.940 | 0.00 | 0.57 | 0.00 |

$$N_{Eq} = 21.48 \text{ kN}$$

$$M_{Eq} = 6.63 \text{ kNm}$$

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 25     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7,54     | 4,8    |
| 2  | 7,54     | 20,2   |

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Sollecitazioni**  
**S.L.U.** **Metodo n**  
**N**   kN  
**M**   kNm  
**M**

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   ‰  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   ‰  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   ‰  
 $\tau_{c1}$   ‰

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
**N° iterazioni:**

☐ Precompresso

L'ampiezza delle fessure deve essere inferiore a limite  $w_i=0.2$  mm imposto dalla normativa, per entrambe le combinazioni, frequente e quasi permanente:

- combinazione frequente  $w_k=0.11 \leq 0.2$  mm
- combinazione quasi permanente  $w_k=0.04 \leq 0.2$  mm

La verifica risulta quindi soddisfatta.

#### Verifica dell'armatura minima da ritiro

Essendo l'elemento lungo circa 33.87 m, nella direzione longitudinale del muro occorre disporre, conformemente a quanto esposto al §7.3.2-EC2-1-1, un quantitativo minimo di armatura aderente allo scopo di controllare la fessurazione nelle zone dove è presente la trazione dovuta al ritiro.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 30 di 48 |

Tale quantitativo può essere valutato mediante l'equilibrio tra la forza di trazione nel calcestruzzo subito prima della formazione della fessura e la forza di trazione nell'armatura fatta lavorare alla tensione di snervamento.

Secondo lo stesso paragrafo dell'Eurocodice, l'armatura minima per il controllo della fessurazione si determina mediante la seguente uguaglianza:

$$A_{s,min} \sigma_s = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} \quad (7.1)$$

dove:

$A_{s,min}$  è l'area minima di armatura nella zona tesa;

$A_{ct}$  è l'area di calcestruzzo nella zona tesa. La zona tesa è quella parte della sezione che risulta in trazione subito prima della formazione della fessura;

$\sigma_s$  è la massima tensione ammessa nell'armatura subito dopo la formazione della fessura. Tale tensione può essere assunta pari alla tensione di snervamento  $f_{yk}$  dell'armatura. Può essere però necessario fissare un valore minore per soddisfare i limiti di apertura delle fessure secondo il massimo diametro delle barre o la massima spaziatura tra le barre [vedere punto 7.3.3.12 (2)];

$f_{ct,eff}$  è il valore medio della resistenza a trazione efficace del calcestruzzo al momento in cui si suppone insorgano le prime fessure:

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$  o minore,  $[f_{ctm}(t)]$ , se la formazione delle fessure è prevista prima di 28 d;

$k$  è il coefficiente che tiene conto degli effetti di tensioni auto-equilibrate non uniformi, che determinano una riduzione delle forze di contrasto:

= 1,0 per anme con  $h \leq 300$  mm o piattabande di larghezza minore di 300 mm;

= 0,65 per anme con  $h \geq 800$  mm o piattabande di larghezza maggiore di 800 mm.

Valori intermedi possono essere ottenuti per interpolazione;

$k_c$  è il coefficiente che tiene conto del tipo di distribuzione delle tensioni all'interno della sezione subito prima della fessurazione e della variazione del braccio di leva:

Per trazione pura:

$$k_c = 1,0$$

Si determina così il numero minimo di armature:

$$2 \times \text{Ø}12/15$$

| Caratteristiche geometriche della sezione  |           |   |                      |
|--------------------------------------------|-----------|---|----------------------|
| Base della sezione trasversale             | b         | = | 100 cm               |
| Altezza della sezione trasversale          | h         | = | 25 cm                |
| Area cls in zona tesa                      | $A_{ct}$  | = | 2500 cm <sup>2</sup> |
| Coeff. tensioni non uniformi               | k         | = | 1.00 [-]             |
| Area efficace                              | $A_{eff}$ | = | 2500 cm <sup>2</sup> |
| Caratteristiche meccaniche della sezione   |           |   |                      |
| Resistenza caratteristica a compr. del cls | $f_{ck}$  | = | 32 MPa               |
| Resistenza media a trazione del cls        | $f_{ctm}$ | = | 3.02 MPa             |
| Resistenza caratteristica a traz. arm.     | $f_{yk}$  | = | 450 MPa              |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 31 di 48 |

#### ORDINI DI ARMATURA

| $\varnothing_s$ | $n_{s,lim}(\varnothing_s)$ | 2    | 3    | 4    |
|-----------------|----------------------------|------|------|------|
| 12              | 14.85                      | 7.43 | 4.95 | 3.71 |

### 9.1.2 Platea

Le azioni interne nella platea vengono calcolate in base alla continuità con la parete verticale:

Azioni di progetto:  $V_{Ed,platea} = N_{Ed,parete} = 32.98 \text{ kN}$

$M_{Ed,platea} = M_{Ed,parete} = 26.55 \text{ kNm}$

#### Verifica a presso-flessione

Si sceglie un'armatura verticale costituita pari a  $\varnothing 12/15$ .

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  **Zoom** N° strati barre  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 25     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7.54     | 4.8    |
| 2  | 7.54     | 20.2   |

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐  
 N<sub>Ed</sub>  kN  
 M<sub>xEd</sub>  kNm  
 M<sub>yEd</sub>  kNm

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo rottura**  
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$  67.5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  391.3 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3.5 ‰  
 $E_s$  200.000 N/mm²  $f_{cd}$  18.13 N/mm²  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0.8  
 $\epsilon_{syd}$  1.957 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12.25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0.7333  
 $\tau_{c1}$  2.114

**Metodo di calcolo**  
☒ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Tipo flessione**  
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.   
**Calcola MRd** **Dominio M-N**  
 $L_o$   cm **Col. modello**  
**M-curvatura**  
☐ Precompresso

**Calcoli:**  
 $M_{xRd}$  62.43 kN m  
 $\sigma_c$  -18.13 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3.5 ‰  
 $\epsilon_s$  17.08 ‰  
 $d$  20.2 cm  
 $x$  3.435  $x/d$  0.1701  
 $\delta$  0.7

La verifica è soddisfatta ( $FS = 62.43/26.55 = 2.35 > 1$ ).

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 32 di 48 |

#### Verifica a taglio

Si effettuano le verifiche al taglio per sezioni non armate a taglio.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 33 di 48 |

| PLATEA (t=25cm)             |                |                   |
|-----------------------------|----------------|-------------------|
| $b_w$ [mm]                  | $d$ [mm]       | $k$ [ - ]         |
| 1000                        | 250            | 1.894             |
| $f_{ck}$ [MPa]              |                | $\gamma_c$ [ - ]  |
| 32                          |                | 1.5               |
| $A_{sl}$ [mm <sup>2</sup> ] | $\rho_l$ [ - ] | $V^*_{Rd}$ [kN]   |
| 754.36                      | 0.30%          | 121.02            |
| $V_{Ed}$ [kN]               | $V_{Rd}$ [kN]  | $V_{Rd} / V_{Ed}$ |
| 32.98                       | 129.06         | 3.91              |

La verifica è soddisfatta ( $FS = 3.91 > 1$ ).

Verifiche agli Stati Limite di Esercizio – combinazione QUASI PERMANENTE (tensione e fessurazione)

$$M_{Eqp} = 19.91 \text{ kN}$$

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 34 di 48 |

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  Zoom N° strati barre  Zoom

| N° | b [cm] | h [cm] | N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|--------|--------|----|----------|--------|
| 1  | 100    | 25     | 1  | 7,54     | 4,8    |
|    |        |        | 2  | 7,54     | 20,2   |

**Sollecitazioni**  
 S.L.U. ☒ Metodo n ☐

N Ed  kN  
 M xEd  19,91 kNm  
 M yEd  0

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
 B450C C32/40  
 ε<sub>su</sub> 67,5 ‰ ε<sub>c2</sub> 2 ‰  
 f<sub>yd</sub> 391,3 N/mm² ε<sub>cu</sub> 3,5 ‰  
 E<sub>s</sub> 200.000 N/mm² f<sub>cd</sub> 18,13 ‰  
 E<sub>s</sub>/E<sub>c</sub> 15 f<sub>cc</sub>/f<sub>cd</sub> 0,8  
 ε<sub>syd</sub> 1,957 ‰ σ<sub>c,adm</sub> 12,25 ‰  
 σ<sub>s,adm</sub> 255 N/mm² τ<sub>co</sub> 0,7333  
 τ<sub>c1</sub> 2,114

σ<sub>c</sub> -3,706 N/mm²  
 σ<sub>s</sub> 145,3 N/mm²  
 ε<sub>s</sub> 0,7263 ‰  
 d 20,2 cm  
 x 5,591 x/d 0,2768  
 δ 0,786

**Verifica**  
 N° iterazioni:

☐ Precompresso

In comb. rara risultano soddisfatti i più stringenti requisiti richiesti dalle NTC18 in comb. quasi permanente:

$$\sigma_c = 3,71 \text{ MPa} \leq 0,45 f_{ck} = 14,4 \text{ MPa}$$

La tensione massima  $\sigma_{s,max}$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica, rispetta la limitazione imposta dalle NTC18:

$$\sigma_{s,max} = 145,3 \leq 360,0 \text{ MPa}$$

In combinazione frequente e quasi permanente, in base alla continuità con la parete verticale, si hanno per la platea le seguenti azioni interne:

$$M_{Efreq} = 16,59 \text{ kN}$$

$$M_{Eqp} = 6,63 \text{ kN}$$



Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi"

Relazione di calcolo  
strutturale

Doc. C04\_23.003.2\_F\_STR-GEO-R-RC-01-A

Rev.A

Data: Lug. 2025

Pag. 35 di 48

**Titolo :** \_\_\_\_\_

**N° figure elementari**  **Zoom** **N° strati barre**  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 25     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7,54     | 4,8    |
| 2  | 7,54     | 20,2   |

**Sollecitazioni**  
S.L.U. **Metodo n**

**N** Ed   kN  
**M** xEd   kNm  
**M** yEd

**P.to applicazione N**  
☒ Centro ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm] xN  yN

**Tipo Sezione**  
☒ Rettan.re ☐ Trapezi  
☐ a T ☐ Circolare  
☐ Rettangoli ☐ Coord.  
☐ DXF

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+ ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Materiali**  
**B450C** **C32/40**  
 $\epsilon_{su}$   ‰  $\epsilon_{c2}$   ‰  
 $f_{yd}$   N/mm²  $\epsilon_{cu}$   ‰  
 $E_s$   N/mm²  $f_{cd}$   N/mm²  
 $E_s/E_c$    $f_{cc}/f_{cd}$   ?  
 $\epsilon_{syd}$   ‰  $\sigma_{c,adm}$   N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$   N/mm²  $\tau_{co}$   N/mm²  
 $\tau_{cl}$   N/mm²

$\sigma_c$   N/mm²  
 $\sigma_s$   N/mm²  
 $\epsilon_s$   ‰  
d  cm  
x  x/d   
 $\delta$

**Verifica**  
N° iterazioni:   
☐ Precompresso

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 36 di 48 |

**Titolo :** \_\_\_\_\_

N° figure elementari  **Zoom**      N° strati barre  **Zoom**

| N° | b [cm] | h [cm] |
|----|--------|--------|
| 1  | 100    | 25     |

| N° | As [cm²] | d [cm] |
|----|----------|--------|
| 1  | 7,54     | 4,8    |
| 2  | 7,54     | 20,2   |

**Tipologia Sezione**  
☒ Rettan.re   ☐ Trapezi  
☐ a T   ☐ Circolare  
☐ Rettangoli   ☐ Coord.  
☐ DXF

**Sollecitazioni**  
S.L.U.   **Metodo n**

| N <sub>Ed</sub>  | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/> kN     |
|------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| M <sub>xEd</sub> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="6,63"/> kNm |
| M <sub>yEd</sub> | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="0"/>        |

**P.to applicazione N**  
☒ Centro   ☐ Baricentro cls  
☐ Coord.[cm]   xN    yN

**Materiali**  
☒ B450C   ☐ C32/40

|                                | B450C                                      | C32/40                                                              |
|--------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| ε <sub>su</sub>                | <input type="text" value="67,5"/> ‰        | ε <sub>c2</sub> <input type="text" value="2"/> ‰                    |
| f <sub>yd</sub>                | <input type="text" value="391,3"/> N/mm²   | ε <sub>cu</sub> <input type="text" value="3,5"/> ‰                  |
| E <sub>s</sub>                 | <input type="text" value="200.000"/> N/mm² | f <sub>cd</sub> <input type="text" value="18,13"/> N/mm²            |
| E <sub>s</sub> /E <sub>c</sub> | <input type="text" value="15"/>            | f <sub>cc</sub> /f <sub>cd</sub> <input type="text" value="0,8"/> ? |
| ε <sub>syd</sub>               | <input type="text" value="1,957"/> ‰       | σ <sub>c,adm</sub> <input type="text" value="12,25"/> N/mm²         |
| σ <sub>s,adm</sub>             | <input type="text" value="255"/> N/mm²     | τ <sub>co</sub> <input type="text" value="0,7333"/> N/mm²           |
|                                |                                            | τ <sub>c1</sub> <input type="text" value="2,114"/> N/mm²            |

σ<sub>c</sub>  N/mm²  
σ<sub>s</sub>  N/mm²  
ε<sub>s</sub>  ‰  
d  cm  
x    x/d   
δ

**Metodo di calcolo**  
☐ S.L.U.+   ☐ S.L.U.-  
☒ Metodo n

**Verifica**  
N° iterazioni:

☐ Precompresso

L'ampiezza delle fessure deve essere inferiore a limite  $w_1=0.2$  mm imposto dalla normativa, per entrambe le combinazioni, frequente e quasi permanente:

- combinazione frequente  $w_k=0.13 \leq 0.2$  mm
- combinazione quasi permanente  $w_k=0.05 \leq 0.2$  mm

La verifica risulta quindi soddisfatta.

#### Verifica dell'armatura minima da ritiro

L'armatura da ritiro prevista per la platea è pari a quella adottata per la parete, in quanto entrambe presentano analoghe dimensioni geometriche (spessore, altezza/lunghezza) e condizioni di vincolo, risultando quindi soggette a fenomeni di ritiro simili.

Pertanto, ai fini del controllo della fessurazione da ritiro, si adotta la medesima disposizione dell'armatura indicata per la parete.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 37 di 48 |

## 9.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche di sicurezza agli Stati Limite Ultimi di tipo GEO sono state effettuate nel rispetto delle indicazioni contenute al §6.4.2.1 del D.M. 17/01/2018, applicando la combinazione A1+M1+R3 di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2.

### 9.2.1 Verifica al ribaltamento

Si determinano mediante equazioni di equilibrio a rotazione i contributi di momento stabilizzanti e ribaltanti (si riporta sotto lo specchietto per la combinazione più sfavorevole: SLU):

|                         | CARICO<br>[kN/m] | RIBALTAMENTO |         |       |        |
|-------------------------|------------------|--------------|---------|-------|--------|
|                         |                  | gamma_F      | braccio | W_rib | W_stab |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 0.90         | -0.53   | 0.00  | 4.73   |
| PESO BASE MURO          | 10.31            | 0.90         | -0.83   | 0.00  | 7.66   |
| PESO TERRENO TERGO MURO | 24.83            | 0.90         | -1.15   | 0.00  | 25.70  |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 10.00            | 0.90         | -1.15   | 0.00  | 10.35  |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 0.90         | -0.53   | 0.00  | 0.71   |
| CARICO FOLLA            | 5.00             | 0.675        | -1.15   | 0.00  | 3.88   |
| AZIONE SU PARAPETTO     | 1.50             | 0.675        | 2.95    | 2.99  | 0.00   |
| SPINTA TERRENO          | 7.65             | 1.10         | -0.08   | 0.00  | 0.66   |
| SPINTA PACCH. STR.      | 5.17             | 1.35         | 0.16    | 1.14  | 0.00   |
| SPINTA TRAFFICO         | 12.92            | 1.35         | 0.16    | 2.86  | 0.00   |

Per un totale di:

- Momento ribaltante di progetto  $M_{rib,calc} = 6.99 \text{ kNm} = M_{rib,d}$
- Momento stabilizzante  $M_{stab,calc} = 53.68 \text{ kNm} \Rightarrow M_{stab,d} = 53.68 / 1,15 = 46.68 \text{ kNm}$

La verifica è soddisfatta:  $FS = M_{stab,d} / M_{rib,d} = 6.68$

### 9.2.2 Verifica a scorrimento

Si determinano mediante equazioni di equilibrio le azioni agenti sul piano fondale (si riporta sotto lo specchietto per la combinazione più sfavorevole: SLU):

|                         | CARICO<br>[kN/m] | SCORRRIMENTO |       |       |        |      |
|-------------------------|------------------|--------------|-------|-------|--------|------|
|                         |                  | gamma_F      | vert? | V     | orizz? | H    |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 1.00         | 1     | 10.00 | 0      | 0.00 |
| PESO BASE MURO          | 10.31            | 1.00         | 1     | 10.31 | 0      | 0.00 |
| PESO TERRENO TERGO MURO | 24.83            | 1.00         | 1     | 24.83 | 0      | 0.00 |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 10.00            | 1.00         | 1     | 10.00 | 0      | 0.00 |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 1.00         | 1     | 1.50  | 0      | 0.00 |
| CARICO FOLLA            | 5.00             | 1.00         | 1     | 5.00  | 0      | 0.00 |
| AZIONE SU PARAPETTO     | 1.50             | 1.00         | 0     | 0.00  | 0      | 0.00 |
| SPINTA TERRENO          | 7.65             | 1.30         | 0.342 | 3.40  | 0.940  | 9.34 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 38 di 48 |

|                    |       |      |       |      |       |       |
|--------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| SPINTA PACCH. STR. | 5.17  | 1.35 | 0.342 | 2.39 | 0.940 | 6.55  |
| SPINTA TRAFFICO    | 12.92 | 1.35 | 0.342 | 5.96 | 0.940 | 16.39 |

Per un totale di:

- Azione verticale di progetto  $V_{Ed} = 73.39 \text{ kN}$
- Azione orizzontale di progetto  $H_{Ed} = 32.28 \text{ kN}$

Si calcola la resistenza a scorrimento per attrito all'interfaccia col terreno fondale:

$$R_{attr} = V_{Ed} \tan \delta = 31.15 \text{ kN}$$

Si calcola la spinta passiva attivata chiave di taglio posta a valle del muro:

$$S_p = 0.5 \gamma_t K_p (h + s)^2 = 14.33 \text{ kN}$$

Considerando i contributi qui illustrati, la resistenza a scorrimento di progetto è quindi pari a:

$$H_{Rd} = \frac{R_{attr}}{1.1} + \frac{S_p}{1.4} = 38.55 \text{ kN}$$

La verifica risulta soddisfatta:  $FS = H_{Rd} / H_{Ed} = 1.19$

### 9.2.3 Verifica della capacità portante del terreno

Si determina dapprima la pressione agente di progetto mediante il seguente procedimento.

- Si determinano mediante equazioni di equilibrio le azioni agenti sul piano fondale (si riporta sotto lo specchio per la combinazione più sfavorevole: SLU):

|                         | CARICO<br>[kN/m] | PRESSIONE DEL TERRENO |       |       |        |       |         |        |
|-------------------------|------------------|-----------------------|-------|-------|--------|-------|---------|--------|
|                         |                  | gamma                 | vert? | V     | orizz? | H     | braccio | W      |
| PESO PARETE MURO        | 10.00            | 1.30                  | 1     | 13.00 | 0      | 0.00  | 0.30    | 3.90   |
| PESO BASE MURO          | 10.31            | 1.30                  | 1     | 13.41 | 0      | 0.00  | 0.00    | 0.00   |
| PESO TERRENO TERGO MURO | 24.83            | 1.30                  | 1     | 32.28 | 0      | 0.00  | -0.33   | -10.49 |
| PESO PACCHETTO STRADALE | 10.00            | 1.35                  | 1     | 13.50 | 0      | 0.00  | -0.33   | -4.39  |
| PESO PARAPETTO          | 1.50             | 1.35                  | 1     | 2.03  | 0      | 0.00  | 0.30    | 0.61   |
| CARICO FOLLA            | 5.00             | 0.675                 | 1     | 3.38  | 0      | 0.00  | -0.33   | -1.10  |
| AZIONE SU PARAPETTO     | 1.50             | 0.675                 | 0     | 0.00  | 0      | 0.00  | 2.95    | 2.99   |
| SPINTA TERRENO          | 7.65             | 1.30                  | 0.342 | 3.40  | 0.940  | 9.34  | 0.20    | 2.02   |
| SPINTA PACCH. STR.      | 5.17             | 1.35                  | 0.342 | 2.39  | 0.940  | 6.55  | 0.45    | 3.11   |
| SPINTA TRAFFICO         | 12.92            | 1.35                  | 0.342 | 5.96  | 0.940  | 16.39 | 0.45    | 7.78   |

azione verticale:  $V = 89.34 \text{ kN}$

azione orizzontale:  $H = 32.28 \text{ kN}$

coppia:  $W = 4.43 \text{ kN m}$

- si determina l'eccentricità dell'azione verticale:  $e = \frac{W}{V} = 0.05 \text{ m}$
- si determina la base reagente efficace della fondazione:  $B^* = 1.65[m] - 2e = 1.551 \text{ m}$
- si determina così la pressione agente di progetto:

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 39 di 48 |

$$q_{Ed} = \frac{V}{B^*} = 57.61 \text{ kPa}$$

Si determina, mediante la formula di Brinch-Hansen (EC7, D4), la portata limite della fondazione:

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma_t B_{min} N_\gamma i_\gamma + \gamma_r D N_q d_q i_q$$

essendo:

$$N_q = \frac{1 + \sin \Phi_k}{1 - \sin \Phi_k} e^{\pi \tan \Phi_k} = 8.661$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \Phi_k = 6.504$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \Phi_k (1 - \sin \Phi_k)^2 \frac{D}{B} = 1.102 = \text{coeff. di profondità}$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^{m+1} = 0.342 \quad \text{e} \quad i_q = \left(1 - \frac{H}{V}\right)^m = 0.536 = \text{coefficienti d'obliquità del carico}$$

$$m = (2 + B)/(1 + B) = 1.392$$

- Riprendendo la formula di Brinch-Hansen si ha pertanto:

$$q_{lim} = 32.952 + 48.810 = 81.762 \text{ [kPa]}$$

- si determina la portata di progetto:

$$q_{Rd} = \frac{q_{lim}}{\gamma_R} = 58.40 \text{ kPa}$$

essendo  $\gamma_R = 1.4$  in accordo al par. 6.5.3.1.1-NTC18.

Confrontando tale valore di resistenza con la pressione agente, si calcola un fattore di sicurezza pari a:

$$FS = \frac{q_{Rd}}{q_{Ed}} = 1.01$$

La fondazione risulta pertanto adeguata.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 40 di 48 |

## 10 VERIFICA PARATIA (sez. C)

La verifica della paratia di micropali è stata condotta considerando il caso più sfavorevole, corrispondente a un'altezza di scavo pari a 2,00 m, analizzata nelle combinazioni di carico più gravose, sia agli Stati Limite Ultimi (SLU) che agli Stati Limite di Esercizio (SLE).

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo del software ParatiePlus, che ha consentito la modellazione dell'interazione terreno-struttura, tenendo conto delle caratteristiche geotecniche del sito e delle condizioni al contorno.

Di seguito si riporta una rappresentazione del modello di calcolo impiegato:

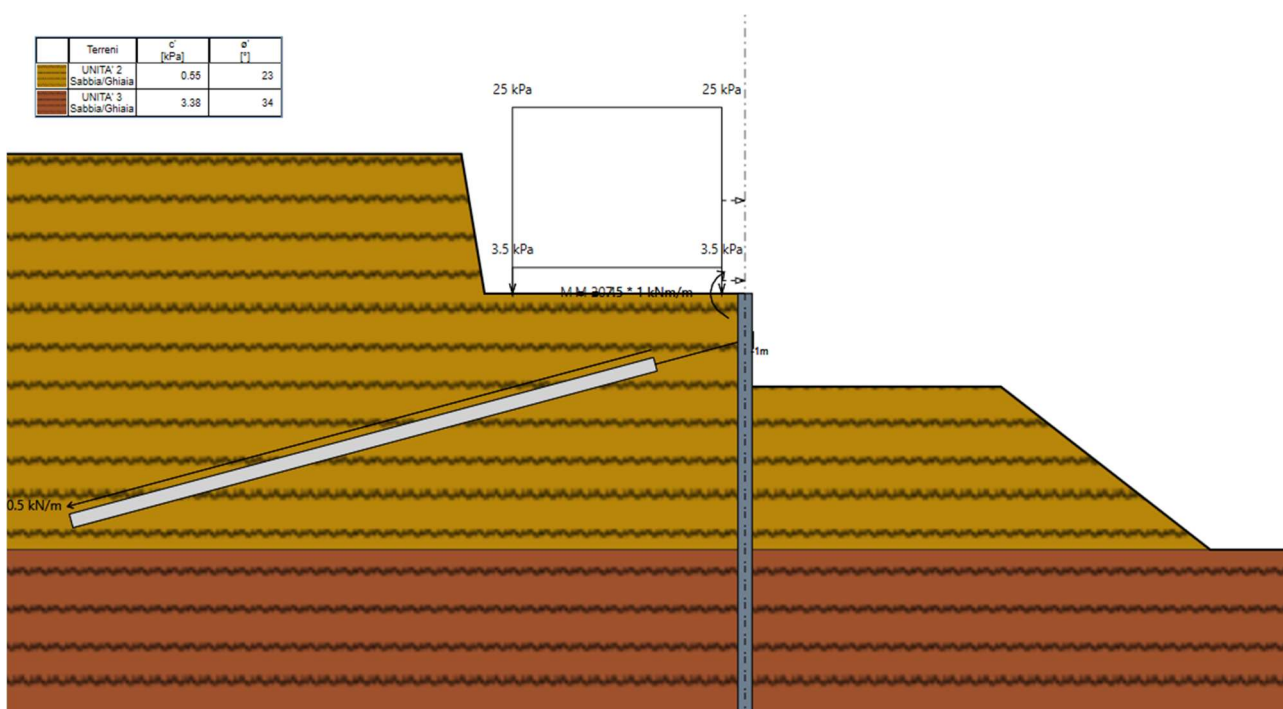


Figura 10.1 Modello di calcolo sezione C

I carichi esterni applicati nel modello sono definiti nei paragrafi precedenti. È stato aggiunto un momento in testa al palo pari a 20.45 kNm dato dai contributi flettenti del parapetto (spinta e peso) del peso del marciapiede e del carico folla previsto su di esso.

### 10.1 VERIFICA MICROPALO

Dal calcolo eseguito con i software si ricavano le seguenti sollecitazioni, illustrate nell'immagine seguente:

- Diagramma momento sollecitante (in verde)
- Diagramma taglio sollecitante (in blu)
- Azione sul tirante

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 41 di 48 |

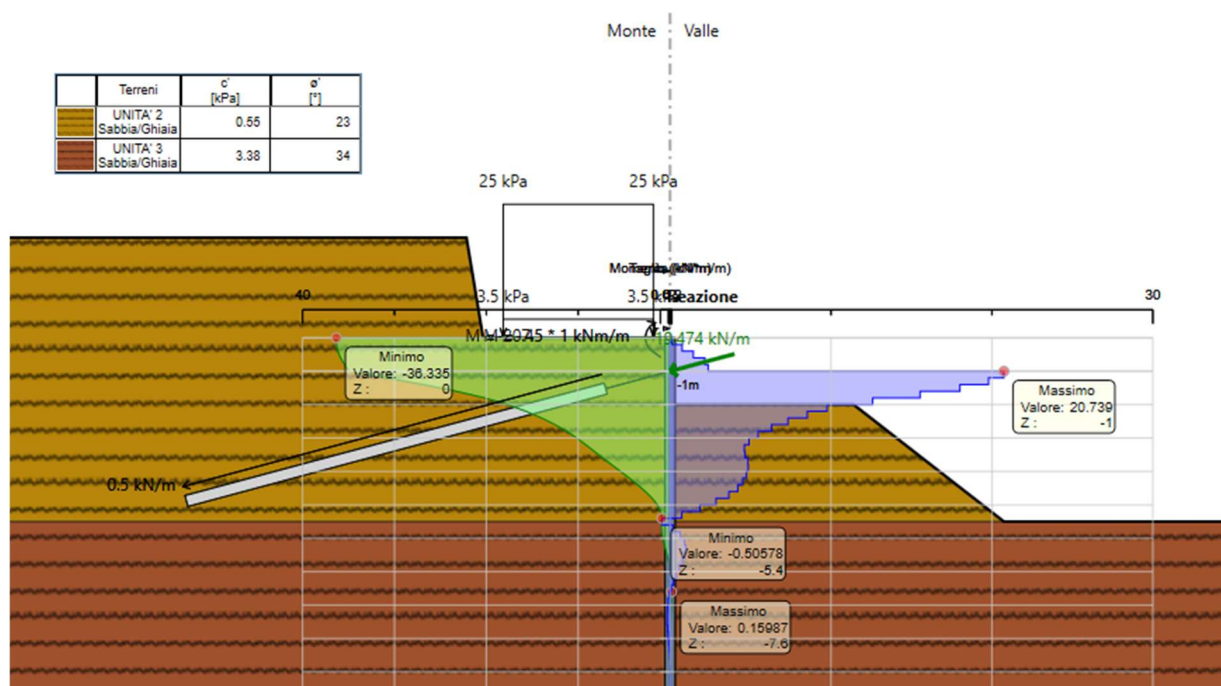


Figura 10.2 Sollecitazioni sulla paratia in condizione finale (sezione C)

Il momento e taglio massimi nel micropalo sono rispettivamente  $36.33 \text{ kNm/m} \times 0.6 \text{ m} = 21.80 \text{ kNm}$  e  $20.74 \text{ kN/m} \times 0.6 \text{ m} = 12.44 \text{ kN}$ , dove  $0.6 \text{ m}$  rappresenta il passo dei micropali. Si procede quindi alle verifiche strutturali.

| AZIONI   |       |     |
|----------|-------|-----|
| $N_{Sd}$ | 0.00  | KN  |
| $M_{Sd}$ | 21.80 | KNm |
| $V_{Sd}$ | 20.74 | KN  |

| PROFILO    |                |                 |                                                         |
|------------|----------------|-----------------|---------------------------------------------------------|
| Sezione    | Ø 193.7 x 12.5 |                 |                                                         |
| D          | 193.70         | mm              | Diametro esterno                                        |
| t          | 12.50          | mm              | Spessore sezione                                        |
| A          | 71.16          | cm <sup>2</sup> | Area                                                    |
| $I_y$      | 2934.31        | cm <sup>4</sup> | Momento di inerzia (intorno all'asse forte)             |
| $I_z$      | 2934.31        | cm <sup>4</sup> | Momento di inerzia (intorno all'asse debole)            |
| $W_{EL,Y}$ | 302.97         | cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza elastico (intorno all'asse forte)  |
| $W_{EL,Z}$ | 302.97         | cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza elastico (intorno all'asse debole) |
| $W_{PL,Y}$ | 411.07         | cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza plastico (intorno all'asse forte)  |
| $W_{PL,Z}$ | 411.07         | cm <sup>3</sup> | Modulo di resistenza plastico (intorno all'asse debole) |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 42 di 48 |

|       |         |                                                      |
|-------|---------|------------------------------------------------------|
| $i_y$ | 6.42 cm | Raggio giratore di inerzia (intorno all'asse forte)  |
| $i_z$ | 6.42 cm | Raggio giratore di inerzia (intorno all'asse debole) |

| ACCIAIO       |           |     |                                  |
|---------------|-----------|-----|----------------------------------|
| Classe        | S         | 355 |                                  |
| $\gamma_{M0}$ | 1.05      |     |                                  |
| $\gamma_{M1}$ | 1.05      |     |                                  |
| $f_{yk}$      | 355.00    | MPa | Resistenza caratteristica        |
| E             | 210000.00 | MPa | Modulo elastico                  |
| $\nu$         | 0.30      |     |                                  |
| G             | 80769.23  | MPa | Modulo di elasticità trasversale |

| VERIFICA A TAGLIO                                       |         |                 |                                                                  |
|---------------------------------------------------------|---------|-----------------|------------------------------------------------------------------|
| $A_v$                                                   | 45.30   | cm <sup>2</sup> | Area di taglio per taglio verticale (lungo Y)                    |
| $V_{C,Rd}$                                              | 884.25  | KN              | Resistenza a taglio                                              |
| $V_{Sd} / V_{C,Rd}$                                     | 0.02    | $\leq 1$        | Indice di verifica                                               |
| Esito                                                   | OK      |                 |                                                                  |
| FS                                                      | 42.64   |                 | Coefficiente di sicurezza                                        |
| VERIFICA DI RESISTENZA A PRESSO / TENSO FLESSIONE RETTA |         |                 |                                                                  |
| $\%(V_{Sd} / V_{C,Rd})$                                 | 2.35%   | $\leq 50.00\%$  |                                                                  |
| Esito                                                   | OK      |                 | Ridurre la resistenza se maggiore del 50%                        |
| $N_{PL,Rd}$                                             | 2405.79 | KN              | Resistenza plastica della sezione lorda                          |
| n                                                       | 0.00    |                 | Rapporto $N_{Sd} / N_{PL,Rd}$                                    |
| $b_{eq}$                                                | 154.81  | mm              | Lato di una sezione scatolare quadrata di spessore t e di area A |
| a                                                       | 0.46    |                 | Formula 4.2.38 usando $b_{eq}$ , A e t                           |
| $M_{PL,Y,Rd}$                                           | 138.98  | KNm             | Momento resistente plastico a flessione attorno a Y (asse forte) |
| $M_{N,Y,Rd}$                                            | 138.98  | KNm             | Momento resistente convenzionale attorno a Y (asse forte)        |
| $M_{Sd} / M_{N,Y,Rd}$                                   | 0.16    | $\leq 1$        | Indice di verifica                                               |
| Esito                                                   | OK      |                 |                                                                  |
| FS                                                      | 6.38    |                 | Coefficiente di sicurezza                                        |

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

## 10.2 VERIFICA MURO (PUNZONAMENTO)

Si procede alla verifica del muro rispetto al punzonamento indotto dal tirante, al fine di assicurare che le sollecitazioni trasmesse non superino la capacità resistente locale del calcestruzzo e dell'armatura.

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 43 di 48 |

Il valore di sforzo puntuale ottenuto dal modello di Paratie Plus è pari a:  $19.47 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} = 38.94 \text{ kN}$ , dove 2 m corrisponde al passo dei tiranti.

Di seguito l'analisi a punzonamento del muro.

### PUNZONAMENTO PIASTRA PIENA (EC2 + App. Nazionale)

|                                                                                                      |        |     |                                                                                     |              |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|
| <b>NORMATIVA</b>                                                                                     |        |     | <b>Acciaio barre di armatura</b>                                                    |              |                   |
| EC2 §6.4 - NTC2018 §4.1.2.3.5.4                                                                      |        |     | $f_{yk} =$                                                                          | 450          | MPa               |
|                                                                                                      |        |     | $\gamma_s =$                                                                        | 1            |                   |
|                                                                                                      |        |     | $f_{yd} =$                                                                          | 450.0        | MPa               |
| <b>Calcestruzzo</b>                                                                                  |        |     | <b>Geometria e Posizione Pilastro</b>                                               |              |                   |
| Classe                                                                                               | C32/40 |     | Forma                                                                               | Rettangolare |                   |
| $R_{ck} =$                                                                                           | 40     | MPa | $F_{colonna} \text{ (mm)} =$                                                        | 0            |                   |
| $f_{ck} =$                                                                                           | 32     | MPa | $L_x \text{ (mm)} =$                                                                | 200          |                   |
| $f_{cd} =$                                                                                           | 21     | MPa | $L_y \text{ (mm)} =$                                                                | 200          |                   |
| $\alpha_{cc} =$                                                                                      | 1      |     | Posizione                                                                           | Interno      |                   |
| $\gamma_c =$                                                                                         | 1.5    |     | $\beta =$                                                                           | 1.15         |                   |
| $d =$                                                                                                | 148    | mm  | $B_{bordo - x} \text{ (mm)} =$                                                      | 0            | dist. netta dir X |
| <b>Geometria piastra</b>                                                                             |        |     | $B_{bordo - y} \text{ (mm)} =$                                                      | 0            | dist. netta dir Y |
| $H =$                                                                                                | 200    | mm  | <b>Sollecitazioni (N centrata)</b>                                                  |              |                   |
| $c =$                                                                                                | 40     | mm  | $N_{SLU} =$                                                                         | 38.94        | KN                |
| <b>Armatura direzione X</b>                                                                          |        |     | $Sc_x \text{ (precomp)} =$                                                          | 0            | MPa               |
| $n \text{ ferri /m in } x =$                                                                         | 6.67   |     | $Sc_y \text{ (precomp)} =$                                                          | 0            | MPa               |
| $\Phi x =$                                                                                           | 12     | mm  | <b><math>V_{rd,max}</math> in adiacenza pilastro (perimetro "<math>u_0</math>")</b> |              |                   |
| $As_x =$                                                                                             | 754    | mmq | $v =$                                                                               | 0.500        |                   |
| $dx =$                                                                                               | 154    | mm  | $V_{rd,max} =$                                                                      | 4.267        | MPa               |
| <b>Armatura direzione Y</b>                                                                          |        |     | <b>Verifica in adiacenza pilastro (perimetro "<math>u_0</math>")</b>                |              |                   |
| $n \text{ ferri /m in } y =$                                                                         | 6.67   |     | $V_{e,d} =$                                                                         | 0.378        | MPa               |
| $\Phi y =$                                                                                           | 12     | mm  | $F_s =$                                                                             | 11.28        | OK                |
| $As_y =$                                                                                             | 754    | mmq | <b>Calcolo lunghezza perimetro "<math>u_0</math>"</b>                               |              |                   |
| $dy =$                                                                                               | 142    | mm  | $U_{0,rettangolare} =$                                                              | 800          | mm                |
| <b><math>V_{rd,c}</math> lungo il perim. di verifica "<math>u_1</math>", Senza armatura a taglio</b> |        |     | $U_{0,circolare} =$                                                                 | 0            | mm                |
|                                                                                                      |        |     | <b><math>V_{rd,cs}</math> lungo il perim. di verifica "<math>u_1</math>"</b>        |              |                   |
|                                                                                                      |        |     | <b>Armatura a taglio non necessaria</b>                                             |              |                   |
|                                                                                                      |        |     | $f_{ywd,eff} =$                                                                     | 287.0        | MPa               |
|                                                                                                      |        |     | $f \text{ barra punz (mm)} =$                                                       | 12           | OK                |
|                                                                                                      |        |     | $n^\circ \text{ barre} =$                                                           | 12           |                   |
|                                                                                                      |        |     | $s_t \text{ (mm)} =$                                                                | /            | OK                |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 44 di 48 |

|                      |        |     |
|----------------------|--------|-----|
| $\rho_{ix} =$        | 0.0049 |     |
| $\rho_{iy} =$        | 0.0053 |     |
| $\rho_i =$           | 0.0051 |     |
| $k (\leq 2.0) =$     | 2.000  |     |
| $k_1 =$              | 0.100  |     |
| $S_{cp}$ (precomp) = | 0      | MPa |
| $C_{rd,c} =$         | 0.12   |     |
| $V_{min} =$          | 0.560  |     |
| $V_{rd,c} =$         | 0.609  | MPa |

|                                                    |       |     |
|----------------------------------------------------|-------|-----|
| <b>Verifica lungo il perimetro "u<sub>1</sub>"</b> |       |     |
| $V_{e,d} =$                                        | 0.114 | MPa |
| $F_s =$                                            | 5.35  | OK  |
| $U_{out} =$                                        | 497   | mm  |
| $d_{out,rettangolare} =$                           | -48   | mm  |
| $d_{out,circolare} =$                              | 0     | mm  |
| $n^\circ$ file arm ( $\geq 2$ ) =                  | /     |     |

|                                                    |      |    |
|----------------------------------------------------|------|----|
| <b>Calcolo lunghezza perimetro "u<sub>1</sub>"</b> |      |    |
| $U_{1,Rettangolare} =$                             | 2660 | mm |
| $U_{1,Circolare} =$                                | 0    | mm |

### 10.3 VERIFICA TIRANTE

Le verifiche relative ai tiranti sono state eseguite conformemente a quanto previsto dal capitolo 6.6 delle NTC18. Tali verifiche mirano a garantire la sicurezza e l'efficacia degli elementi di ancoraggio, valutando la resistenza a trazione, la corretta trasmissione delle sollecitazioni e la durabilità nel tempo.

Considerando lo stesso carico descritto nel paragrafo precedente per la verifica a punzonamento del muro si ottiene:

| Caratteristiche geom. opera di sostegno |     |   |
|-----------------------------------------|-----|---|
| Altezza scavo $h =$                     | 2   | m |
| prof. di infissione $t =$               | 18  | m |
| spessore opera $s =$                    | 0.3 | m |

| Caratteristiche Geometriche del tirante |            |    |
|-----------------------------------------|------------|----|
| Durata di progetto                      | Permanente |    |
| $L$ libera =                            | 2.0        | m  |
| $L$ bulbo =                             | 13.0       | m  |
| $L$ totale =                            | 15.0       | m  |
| $n^\circ$ trefoli =                     | 1          |    |
| $d$ perf =                              | 200        | mm |
| Tipo di iniezione                       | IGU        |    |
| Affondam. tirante $h_1 =$               | 0.74       | m  |
| angolo inclin. $q$ ( $^\circ$ ) =       | 15         |    |
| Precarico - $N_{tiro}$ (KN) =           | 1          | OK |
| Tiro di bloccaggio (KN) =               | 5          |    |
| Tiro di collaudo (KN) =                 | 40         |    |

|                                  |
|----------------------------------|
| <b>Verifica lunghezza libera</b> |
|----------------------------------|

| Sollecitazioni |       |    |
|----------------|-------|----|
| $N_{SLU}$      | 38.94 | KN |
| $N_{SLE}$      | 29.31 | KN |
| $ag/g$         | 0.188 |    |

| Caratteristiche del terreno          |               |  |
|--------------------------------------|---------------|--|
| Tipo terreno                         | sabbia limosa |  |
| NSPT (medio)                         | 35            |  |
| NSPT (minimo)                        | 8             |  |
| $\alpha =$                           | 1.1           |  |
| Numero di verticali                  | 2             |  |
| Angolo di attrito $f$ ( $^\circ$ ) = | 23            |  |

| Materiale - acciaio armonico |        |     |
|------------------------------|--------|-----|
| Area trefolo                 | 804.25 | mmq |
| $f_{p(1)k} =$                | 500    | MPa |
| $g_m =$                      | 1.15   |     |
| $f_{sd}$ (SLU) =             | 435    | MPa |
| $s_s$ (tasso nom. ese) =     | 400    | MPa |
| $s_e$ (Tens. Max. ese) =     | 360    | MPa |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 45 di 48 |

|                              |      |    |
|------------------------------|------|----|
| L <sub>L</sub> (m)           | 1.03 |    |
| Lungh. L <sub>min.</sub> (m) | 1.45 | OK |

| Verifica bulbo di fondazione (SLU)                  |        |     |
|-----------------------------------------------------|--------|-----|
| t <sub>lim</sub> (medio)                            | 0.175  | MPa |
| t <sub>lim</sub> (minimo)                           | 0.04   | MPa |
| Coeff. Efficienza                                   | 1      |     |
| z <sub>a3</sub> (§6.6.2.NTC2008)                    | 1.75   |     |
| z <sub>a4</sub> (§6.6.2.NTC2008)                    | 1.7    |     |
| Portata max fondazione                              | 211    | KN  |
| g <sub>R</sub> (§6.6.2 NTC2008)                     | 1.2    |     |
| R <sub>td</sub>                                     | 176    | KN  |
| F <sub>s</sub> = R <sub>td</sub> / N <sub>SLU</sub> | 4.52   | OK  |
| Q <sub>lim</sub>                                    | 861.06 |     |

| Verifica adesione malta-terreno |      |    |
|---------------------------------|------|----|
| f <sub>equival</sub>            | 38   | mm |
| FS <sub>2</sub>                 | 1.3  |    |
| R <sub>md</sub> (KN)            | 1231 | OK |

| Materiale - Malta di iniezione |        |     |
|--------------------------------|--------|-----|
| Classe                         | C20/25 |     |
| R <sub>ck</sub> =              | 25     | MPa |
| f <sub>ck</sub> =              | 20     | MPa |
| t <sub>2</sub> =               | 1.03   | MPa |

| Verifica lato acciaio - SLU |      |    |
|-----------------------------|------|----|
| R <sub>sd</sub> - SLU       | 350  | KN |
| F <sub>s</sub>              | 8.98 | OK |

| Verifica lato acciaio - SLE |      |    |
|-----------------------------|------|----|
| T <sub>E</sub> - SLE        | 290  | KN |
| F <sub>s</sub>              | 9.88 | OK |

| Verifica gerarchia delle resistenze                      |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| min(R <sub>td</sub> ;R <sub>md</sub> ) < R <sub>sd</sub> | OK |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 46 di 48 |

## 10.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 10.4.1 Verifica a stabilità globale

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno è stata effettuata attraverso il software Paratie Plus secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Si illustrano di seguito le superfici critiche analizzate e i relativi coefficienti di sicurezza.

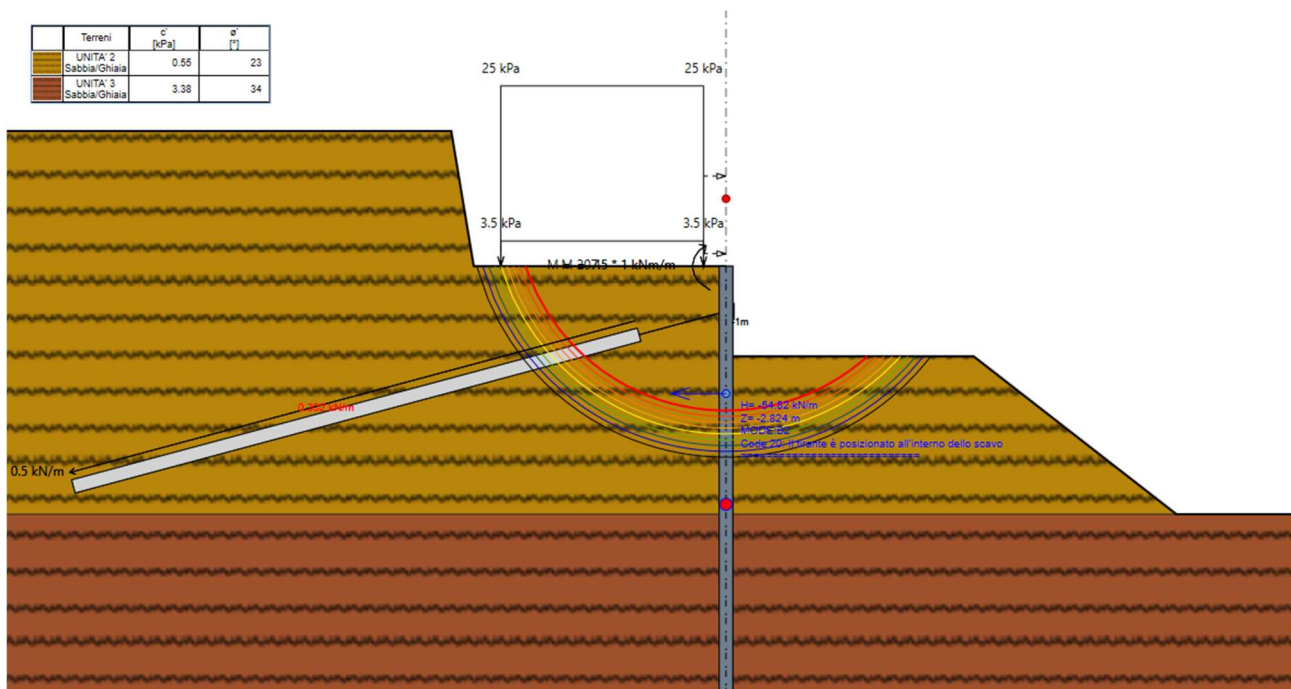


Figura 10.3 Superfici critiche analizzate in configurazione finale (in rosso il piano di scorrimento con coefficiente di sicurezza minore)

| Clas. | Fs    | Fs/y <sub>R</sub> | DIR | alpha | λ | X | Z   | R      |
|-------|-------|-------------------|-----|-------|---|---|-----|--------|
| VALID | 1.741 | 1.5827            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 4.7    |
| VALID | 1.802 | 1.6382            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 4.8293 |
| VALID | 1.861 | 1.6918            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 4.9586 |
| VALID | 1.915 | 1.7409            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.0879 |
| VALID | 2.002 | 1.82              | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.2172 |
| VALID | 2.167 | 1.97              | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.3465 |
| VALID | 2.367 | 2.1518            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.4758 |
| VALID | 2.582 | 2.3473            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.6051 |
| VALID | 2.79  | 2.5364            | -1  | 1     | 0 | 0 | 1.5 | 5.7343 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 47 di 48 |

|                                                                                   |                                                                                                                            |                                       |               |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|  | Intervento di messa in sicurezza dei dissesti franosi nella frazione di Tosi KM 13+100 DELLA SP 86 "Reggello-Donnini-Tosi" |                                       |               |
|                                                                                   | Relazione di calcolo strutturale                                                                                           | Doc. C04_23.003.2_F_STR-GEO-R-RC-01-A | Rev.A         |
|                                                                                   |                                                                                                                            | Data: Lug. 2025                       | Pag. 48 di 48 |

## 11 CONCLUSIONI

In virtù di tutto quanto sopra premesso, con particolare riferimento:

- alle caratteristiche della struttura in oggetto
- alla sezione dei vari elementi strutturali;
- alle caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati;
- ai carichi agenti descritti;
- alle verifiche di resistenza delle strutture e alle verifiche geotecniche;

Si conclude che le strutture oggetto della presente relazione sono conformi ai criteri di progettazione e di resistenza indicati della normativa vigente.