

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V. /A.C. MILANO - VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

SL02:

RELAZIONE DI CALCOLO MURI D'ALA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I N 1 M 1 1 D 2 6 C L S L 0 2 0 0 0 0 2 A

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|---------|-----------------|---------------------------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|---------------------------|
| A | Emissione esecutiva | | Gennaio 2022 | N. Carella <i>N. Carella</i> | Gennaio 2022 | L. Barchi <i>L. Barchi</i> | Gennaio 2022 | A. Perego Gennaio 2022 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

IN1M11D26CLSL0200002A.DOCX

n. Elab.: 1

INDICE

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | PREMESSA..... | 4 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE OPERE..... | 6 |
| 3 | DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO..... | 7 |
| 3.1 | Normativa applicabile..... | 7 |
| 3.2 | Elaborati progettuali..... | 7 |
| 4 | MATERIALI..... | 8 |
| 4.1 | Calcestruzzo per magrone..... | 8 |
| 4.2 | Calcestruzzo per paramento e fondazione..... | 8 |
| 4.3 | Copriferro..... | 8 |
| 4.4 | Acciaio B450C..... | 8 |
| 4.5 | Limiti tensionali..... | 8 |
| 5 | INQUADRAMENTO GEOTECNICO..... | 9 |
| 6 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA..... | 10 |
| 7 | ANALISI DEI CARICHI..... | 11 |
| 7.1 | Pesi propri e carichi permanenti..... | 11 |
| 7.2 | Spinte del terreno in fase statica..... | 11 |
| 7.3 | Spinta del terreno in fase sismica..... | 11 |
| 8 | COMBINAZIONI DI CARICO..... | 12 |
| 9 | METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA..... | 14 |
| 9.1 | Codice di calcolo..... | 14 |
| 9.2 | Verifica allo scorrimento..... | 14 |
| 9.3 | Verifica geotecnica a carico limite..... | 14 |
| 9.4 | Verifica a ribaltamento..... | 14 |
| 9.5 | Verifica di stabilità globale..... | 14 |
| 9.6 | Verifiche strutturali..... | 15 |
| 10 | RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE..... | 16 |
| 10.1 | Muro d'ala SL02..... | 16 |
| 10.1.1 | Dati generali..... | 16 |
| 10.1.2 | Cuneo di spinta..... | 18 |
| 10.1.3 | Sollecitazioni..... | 20 |
| 10.1.4 | Verifiche geotecniche..... | 21 |
| 10.1.4.1 | Verifica a scorrimento..... | 22 |
| 10.1.4.2 | Verifica a carico limite..... | 22 |
| 10.1.4.3 | Verifica a ribaltamento..... | 22 |

| | | |
|----------|---|----|
| 10.1.4.4 | Verifica di stabilità Globale | 22 |
| 10.1.5 | Verifiche strutturali..... | 22 |
| 10.1.5.1 | Verifiche a flessione | 23 |
| 10.1.5.2 | Verifiche a taglio..... | 23 |
| 10.1.5.3 | Verifiche SLE RARA (Tensioni)..... | 23 |
| 10.1.5.4 | Verifiche SLE RARA (Fessurazioni) | 24 |

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la verifica strutturale dei muri di sostegno del sottopasso SL02 della tratta 0+296.86, nell'ambito della progettazione definitiva del Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia.

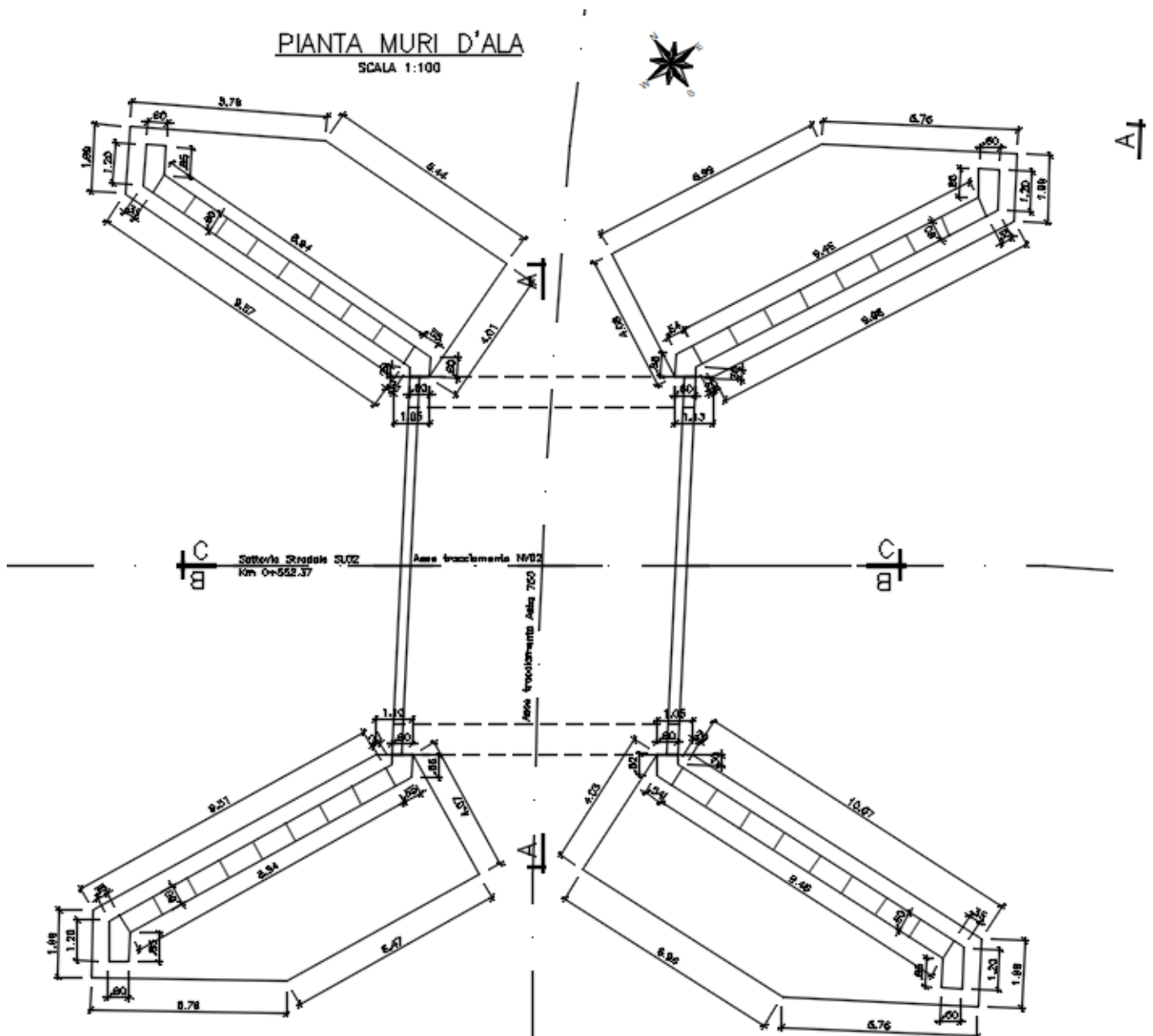


Figura 1 – Pianta muri d'ala SL02

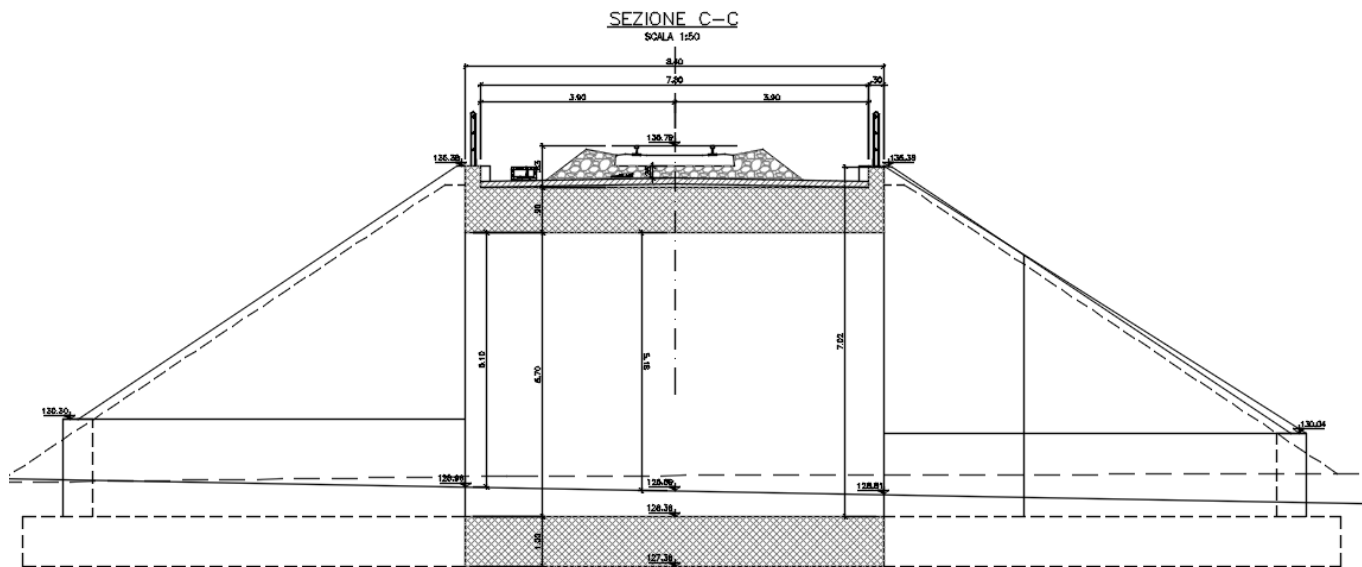


Figura 2 – Sezione muri d'ala SL02

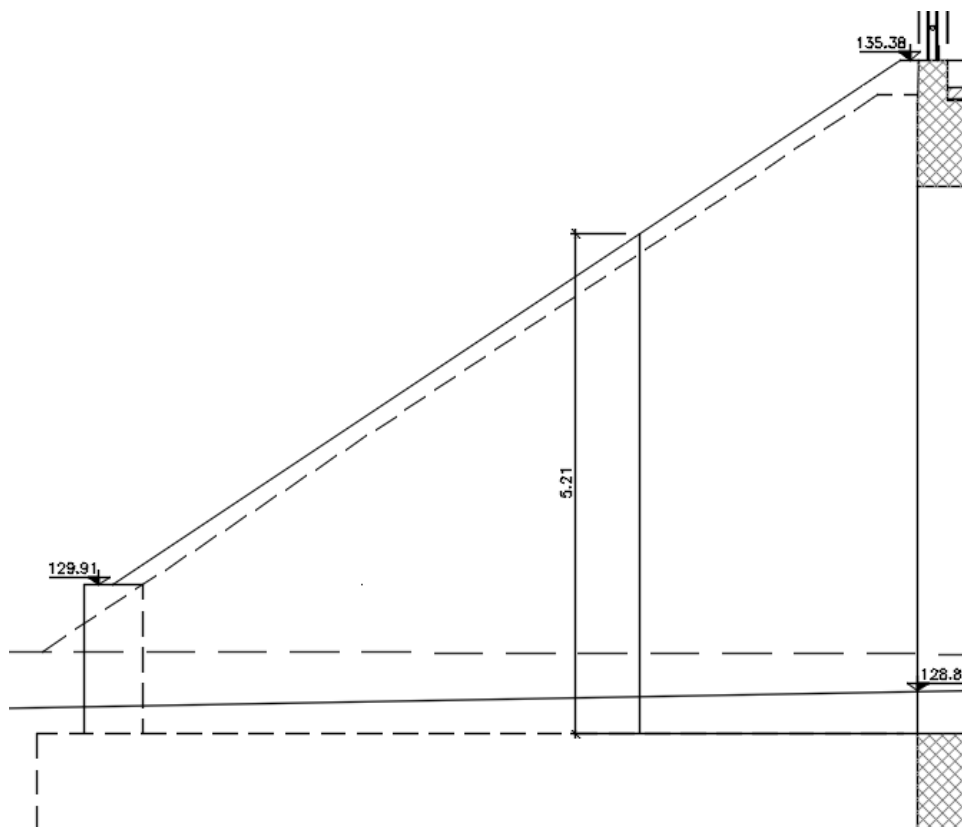


Figura 3 – Sezione analizzata

2 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'opera in esame è costituita da muri di sottoscarpa in c.a. su fondazione superficiale. Nel seguito se ne riportano le principali caratteristiche geometriche.

| | |
|------------------------|------------------------------|
| <i>Tipologia opera</i> | <i>PK_{iniziale}</i> |
| Muro d'ala SL02 | 0+552.37 |

| <i>Tipologia muro</i> | <i>Paramento</i> | | <i>Fondazione</i> | |
|-----------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | <i>Spessore S [m]</i> | <i>Altezza H [m]</i> | <i>Larghezza B [m]</i> | <i>Altezza H [m]</i> |
| Muro d'ala SL02 | 0.6 | Var. 1.55 – 7.02 | 4.60 | 1.00 |

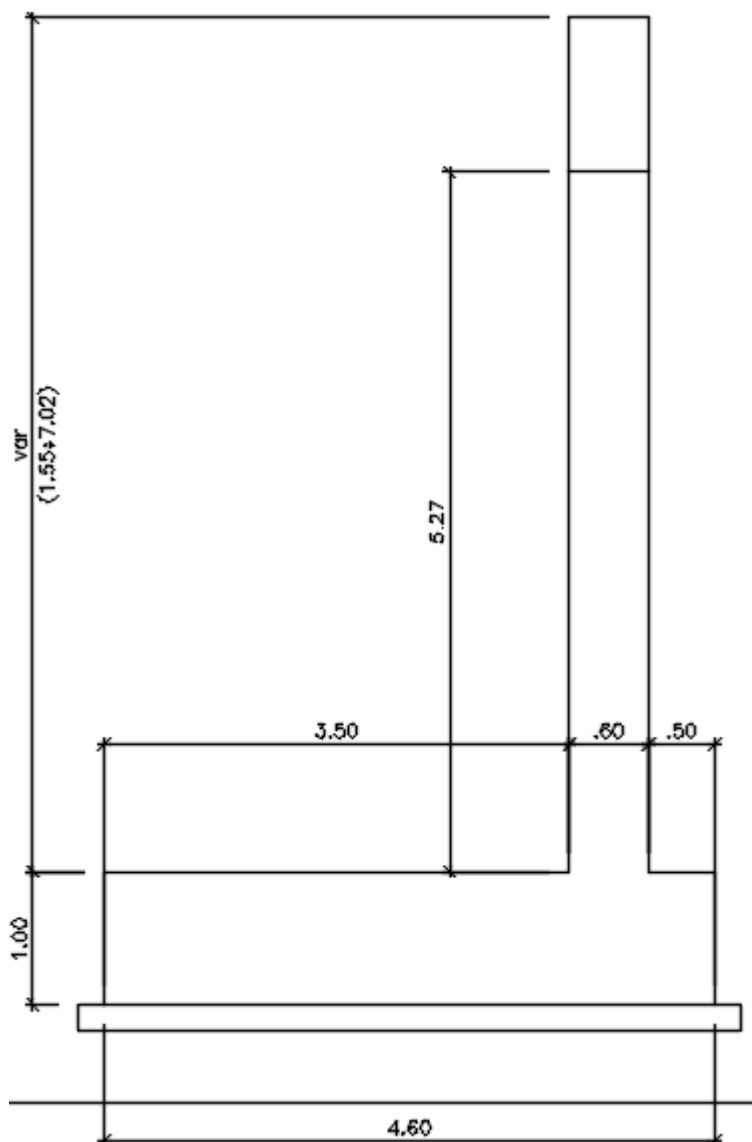


Figura 4 – Carpentaria muro d'ala SL02

3 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa applicabile

- L. n. 1086 del 5/11/1971 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”;
- L. n. 64 del 2/2/1974 “Provvedimento per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 “Istruzioni per l’Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Regolamento della Commissione Europea N.1299/2014 del 18 novembre 2014 Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea modificato dal Regolamento di esecuzione della Commissione Europea N. 776/2019 del 16 maggio 2019;
- RFI DTC SI MA IFS 001 E “Manuale di Progettazione delle Opere Civili”;
- RFI DTC SI SP IFS 001 E “Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili”;

3.2 Elaborati progettuali

- PIANTA PROSPETTO E SEZIONI

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per magrone

Conglomerato classe di resistenza C12/15 (R_{ck} 15 MPa)

Classe di esposizione: X0
Classe di consistenza S3

4.2 Calcestruzzo per paramento e fondazione

Conglomerato classe di resistenza C32/40 (R_{ck} 40 MPa)

Classe di esposizione XC4
Dimensione max aggregati 32 mm
Classe di consistenza S4
Copriferro minimo (FS N°I/SC/PS-OM/2298) 50 mm

4.3 Copriferro

Con riferimento alle NTC2018 Cap. 4.1.6.1.3, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo del copriferro deve rispettare quanto indicato in Tab. C4.1.IV (Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019).

Inoltre, secondo FS N°I/SC/PS-OM/2298 il copriferro minimo per opere in fondazione deve risultare maggiore di 40 mm.

4.4 Acciaio B450C

Tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk} = 450$ MPa;
Tensione di progetto: $f_{yd} = 391.3$ MPa;
Modulo Elastico $E_s = 210'000$ MPa.

4.5 Limiti tensionali

Limiti tensionali allo SLE, secondo "RFI DTC SI MA IFS 001 E - Manuale di Progettazione delle Opere Civili".

Tensioni di compressione del calcestruzzo:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.55 f_{ck}$;
- Per combinazioni di carico Quasi Permanente $0.40 f_{ck}$;

Nel seguito verrà presa in esame la sola combinazione di carico Caratteristica (Rara) con limite tensionale $0.40 f_{ck}$.

Tensioni di trazione nell'acciaio:

- Per combinazione di carico Caratteristica (Rara) $0.75 f_{yk}$.

Apertura delle lesioni:

- Combinazione Caratteristica (Rara) $\delta_r \leq w_1 = 0.2$ mm

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

I sottopassi e i rispettivi muri d'ala sono posizionati sotto al rilevato ferroviario e dunque per le caratteristiche del terreno di rinfiante e per quello di fondazione si farà riferimento ai parametri dei terreni, di seguito elencati:

Rilevato

$\gamma=20.00$ kN/mc $c=0.000$ MPa

$\phi=38.0^\circ$ $\delta=0^\circ$

Ghiaia e Sabbia

$\gamma=19.00$ kN/mc $c=0.000$ MPa

$\phi=39.0^\circ$ $\delta=26^\circ$

Ghiaia e Sabbia (3)

$\gamma=19.00$ kN/mc $c=0.000$ MPa

$\phi=37.0^\circ$ $\delta=25^\circ$

6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Nel seguente paragrafo sono riportati i parametri sismici in accordo a quanto specificato dal D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa.

Per il calcolo dell'azione sismica si è utilizzato il metodo dell'analisi pseudostatica.

In relazione alla tipologia strutturale e alla sua destinazione d'uso si è preso in esame il solo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

Nel caso in esame, per la determinazione dei parametri di pericolosità sismica da utilizzare per le Analisi, tenendo conto che l'opera oggetto di verifica nella presente relazione rappresenta una soluzione tipologica adottata in diversi tratti della linea in progetto ove è prevista la realizzazione di muri di sostegno, si è fatto riferimento all'area con la più alta sismicità.

- Vita nominale: $V_N = 100$ anni
- Classe d'Uso III
- Coefficiente d'uso: $C_U = 1.5$
- Periodo di riferimento: $V_R = V_N \times C_U = 150$ anni
- Stato limite ultimo di salvaguardia della vita, SLV
- Probabilità di superamento associata allo stato limite SLV: $PVR = 10\%$
- Periodo di ritorno: $T_R = -V_R / \ln(1 - PVR) = 1424$ anni
- Categoria topografica: T1, coefficiente topografico $S_T = 1$
- Coefficiente di amplificazione di sito come definito dalla Relazione Geotecnica: trattandosi di opere a prevalente sviluppo lineare, il sottosuolo è stato suddiviso, lungo il profilo longitudinale e in base alla campagna di indagini a disposizione, in aree con profilo stratigrafico omogeneo.

| STATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] | S_s [-] | S_t [-] | a_{max} [g] |
|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|--------------|------------------|
| SLV | 1424 | 0.195 | 2.449 | 0.286 | 1.414 | 1 | 0.276 |

7 ANALISI DEI CARICHI

7.1 Pesì propri e carichi permanenti

- Calcestruzzo strutturale: $\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$
- Rilevato: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

7.2 Spinte del terreno in fase statica

La spinta del terreno viene valutata dal codice di calcolo con il metodo del cuneo di tentativo, una procedura iterativa che implementa analiticamente il metodo grafico di Culmann. L'equilibrio alla traslazione di un cuneo di spinta, soggetto al peso proprio, ai carichi in superficie e alla resistenza di attrito sul piano di rottura in condizioni attive, consente di calcolare la forza che il muro deve esercitare sul cuneo di terreno. L'analisi iterativa per cunei successivi definiti da angoli sempre più grandi del piano di rottura rispetto al paramento del muro, porta all'individuazione della spinta massima in condizioni attive.

Il metodo, come i più comuni metodi di Coulomb e di Rankine, appartiene alla classe dei metodi dell'equilibrio limite, in cui viene mobilitata interamente la resistenza di attrito lungo la superficie piana di rottura che delimita il cuneo di spinta.

Il metodo però, diversamente dai precedenti, consente di calcolare la spinta per qualsiasi profilo del terreno a monte e per qualsiasi carico superficiale o concentrato; è possibile inoltre, come per il metodo di Coulomb, tenere conto dell'inclinazione del paramento e dell'attrito muro – terreno.

Con il metodo del cuneo di tentativo non viene esplicitato alcun coefficiente di spinta attiva, ma esso fornisce, per i casi in cui le condizioni siano confrontabili, gli stessi risultati dei metodi di Coulomb e Rankine.

7.3 Spinta del terreno in fase sismica

In fase sismica, come indicato nel Manuale di Progettazione, si considera la mobilitazione della spinta attiva. In questo caso, il software calcola la spinta attiva con lo stesso metodo del cuneo di tentativo, introducendo però, tra le forze agenti sul cuneo, l'azione del sisma, valutata in modo pseudo-statico con 2 forze, rispettivamente orizzontale e verticale

$$E_h = k_h W$$

$$E_v = k_v W$$

Essendo W il peso del cuneo e k_h e k_v i coefficienti definiti al par. 7.11.6.2.1 delle NTC 2018.

$$k_h = \beta \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 k_h$$

Dove:

β = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

$\beta = 0,38$ (NTC 7.11.6.2.1)

8 COMBINAZIONI DI CARICO

Sulla base della definizione dei carichi di cui sopra, in accordo a quanto prescritto dal *DM 17/01/2018*, sono state individuate le combinazioni di carico per le verifiche agli stati limite ultimi (SLU), in esercizio (SLE) e in condizioni sismiche (SLV).

- Combinazioni SLU per verifiche geotecniche e strutturali (A1+M1+R3);
- Combinazioni SLU per verifiche a ribaltamento e a scorrimento (EQU+M1+R3);
- Combinazione SLU per la verifica di stabilità globale (A2+M2+R2);
- Combinazione SLE Rara;
- Combinazioni SLV per verifiche globali, geotecniche e strutturali ([1]+M1+R3);
- Combinazione SLV per la verifica di stabilità globale ([1]+M1+R2).

[1] – Coefficienti di carico unitari

Simbologia adottata

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

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.35 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.35 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.35 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.35 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.35 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.35 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.35 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.35 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 6 - GEO (A2-M2-R2)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2) H

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 8 - EQU (A1-M1-R3)

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.30 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 9 - EQU (A1-M1-R3) H

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Favorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Favorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 10 - SLER

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 11 - SLEF

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

Combinazione n° 12 - SLEQ

| Condizione | γ | Ψ | Effetto |
|-----------------|----------|--------|-------------|
| Peso muro | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Peso terrapieno | 1.00 | -- | Sfavorevole |
| Spinta terreno | 1.00 | -- | Sfavorevole |

9 METODI DI ANALISI E CRITERI DI VERIFICA

9.1 Codice di calcolo

Tutte le analisi e verifiche esposte nel presente documento sono state effettuate con l'ausilio del software di calcolo:

"MAX MURI – ver. 15.04b" (Analisi e Calcolo Muri di Sostegno)

prodotto e distribuito dalla Aztec Informatica srl, Corso Umberto I.43 – 87050 Casole Bruzio (CS) – aztec@aztec.it.

Licenza: *Bonifica S.p.A. *AIR0136G4*

L'analisi prende in considerazione un concio di muro di adeguata lunghezza e ad altezza costante.

"GeoStudio2018 – Geoslope"

9.2 Verifica allo scorrimento

La verifica a scorrimento sul piano di fondazione confronta la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a far scorrere il muro con la forza resistente di attrito sullo stesso piano.

Il coefficiente di attrito viene assunto sulla base dell'angolo di attrito interno del terreno di fondazione. Non si prende in considerazione l'adesione muro – terreno.

Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento deve risultare:

- $R3 \geq 1,10$ in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,00$ in condizioni sismiche (SLV)

Ai fini delle verifiche di scorrimento, si è assunto $\delta = \phi'$.

9.3 Verifica geotecnica a carico limite

Per la valutazione del carico limite di fondazioni dirette si utilizza la formula di Brinch-Hansen. Il coefficiente di sicurezza a carico limite deve risultare:

- $R3 \geq 1,40$ in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,20$ in condizioni sismiche (SLV)

9.4 Verifica a ribaltamento

La verifica al ribaltamento dell'opera di sostegno, prevede la valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti del meccanismo di rotazione dell'opera rispetto al vertice esterno della fondazione.

Il coefficiente di sicurezza al ribaltamento deve risultare:

- $R3 \geq 1,15$ in condizioni statiche (SLU)
- $R3 \geq 1,00$ in condizioni sismiche (SLV)

9.5 Verifica di stabilità globale

Per la verifica di stabilità globale si adotta il metodo di Bishop. Le superficie di scorrimento vengono supposte circolari e determinate in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro. Ai fini del

calcolo delle forze agenti e resistenti, il corpo potenzialmente instabile viene suddiviso in strisce verticali. Si valutano i momenti stabilizzanti e instabilizzanti intorno ai centri dei cerchi di scorrimento e si determina il coefficiente di sicurezza per una serie di centri disposti su una maglia (10 centri x 10 centri) posta in prossimità della sommità del muro.

La verifica è soddisfatta se il coefficiente di sicurezza minimo non è inferiore a

- $R2 = 1,10$ in condizioni statiche (SLU con parametri M2)
- $R2 = 1,20$ in condizioni sismiche (SLV con parametri M1)

9.6 Verifiche strutturali

Vengono verificate in automatico, nella parete e nella fondazione, le sezioni principali di larghezza unitaria, in base al criterio del confronto delle sollecitazioni di sforzo normale e momento flettente con i valori ultimi ad eccentricità costante (uguale rapporto M/N).

10 RISULTATI DELLE ANALISI E VERIFICHE

10.1 Muro d'ala SL02

Le verifiche sono state effettuate considerando un muro equivalente di altezza pari a $1/3$ dell'altezza massima.

10.1.1 Dati generali

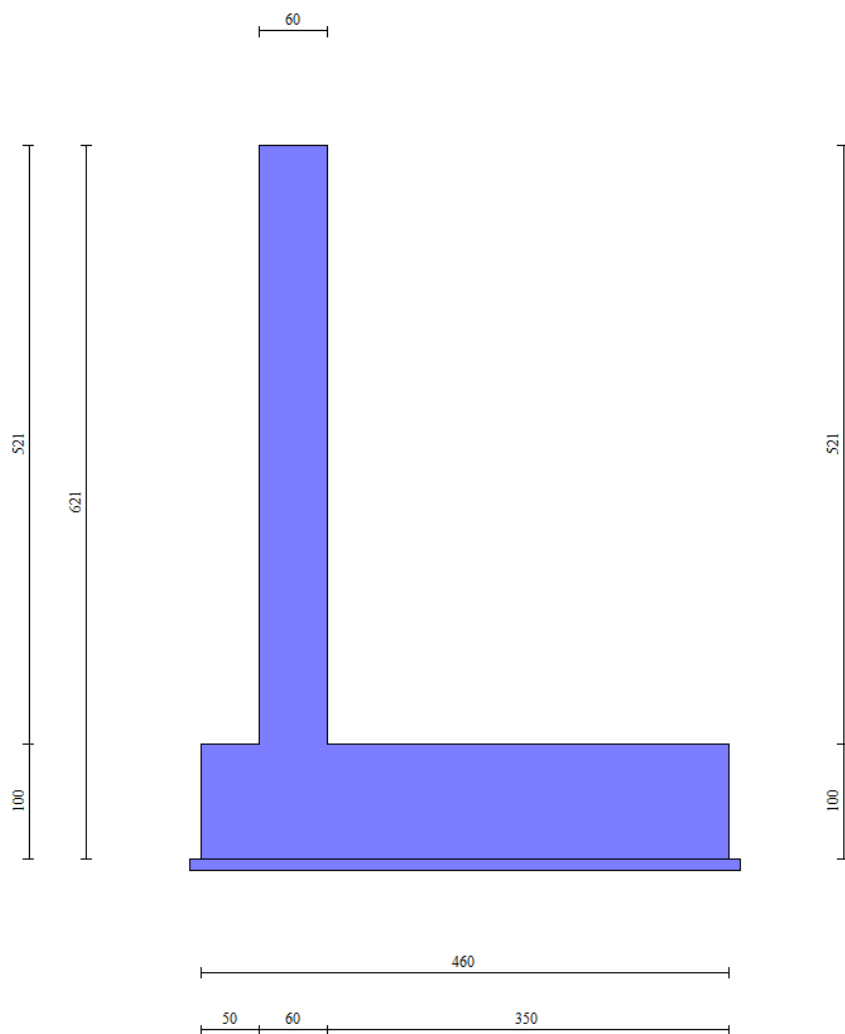


Figura 2 – sezione

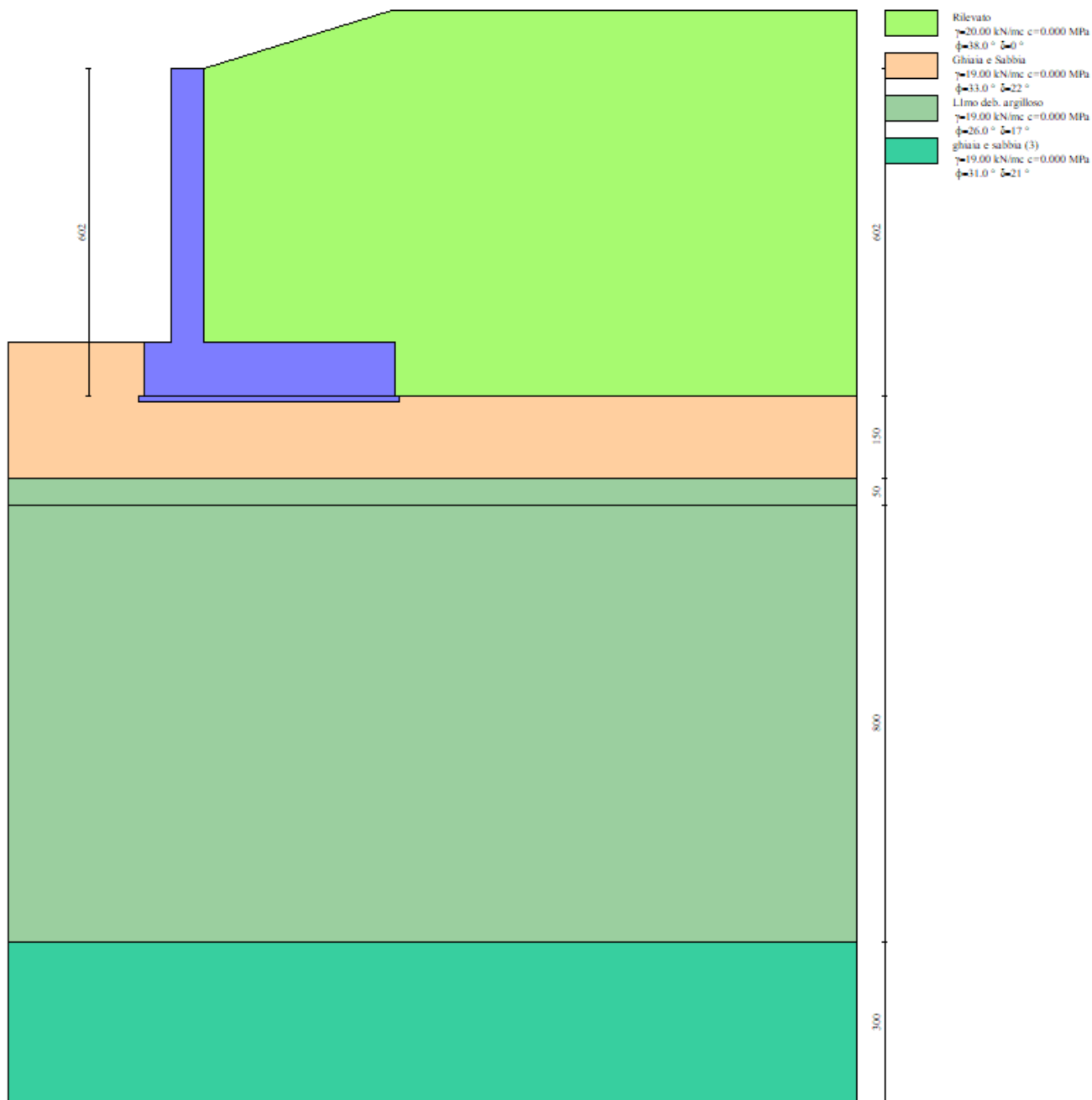


Figura 3 - carichi profilo e paramento

10.1.2 Cuneo di spinta

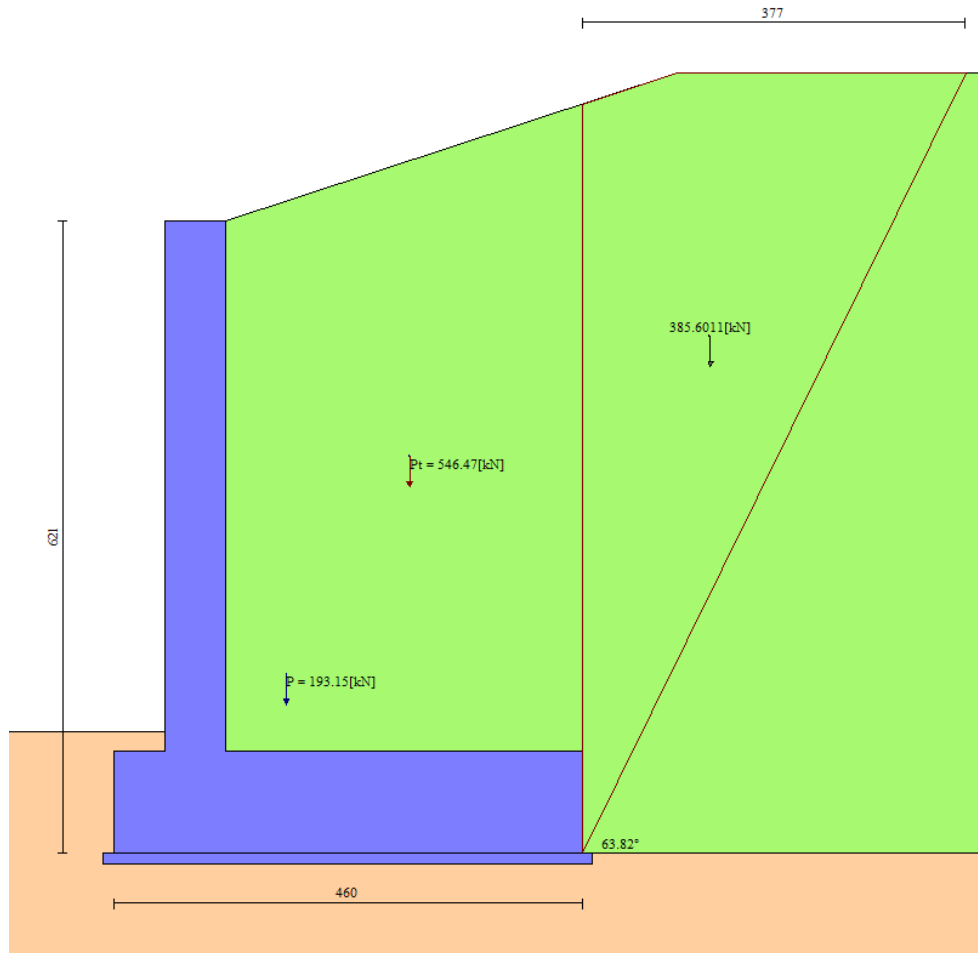


Figura 4 - Cuneo di spinta comb. STR

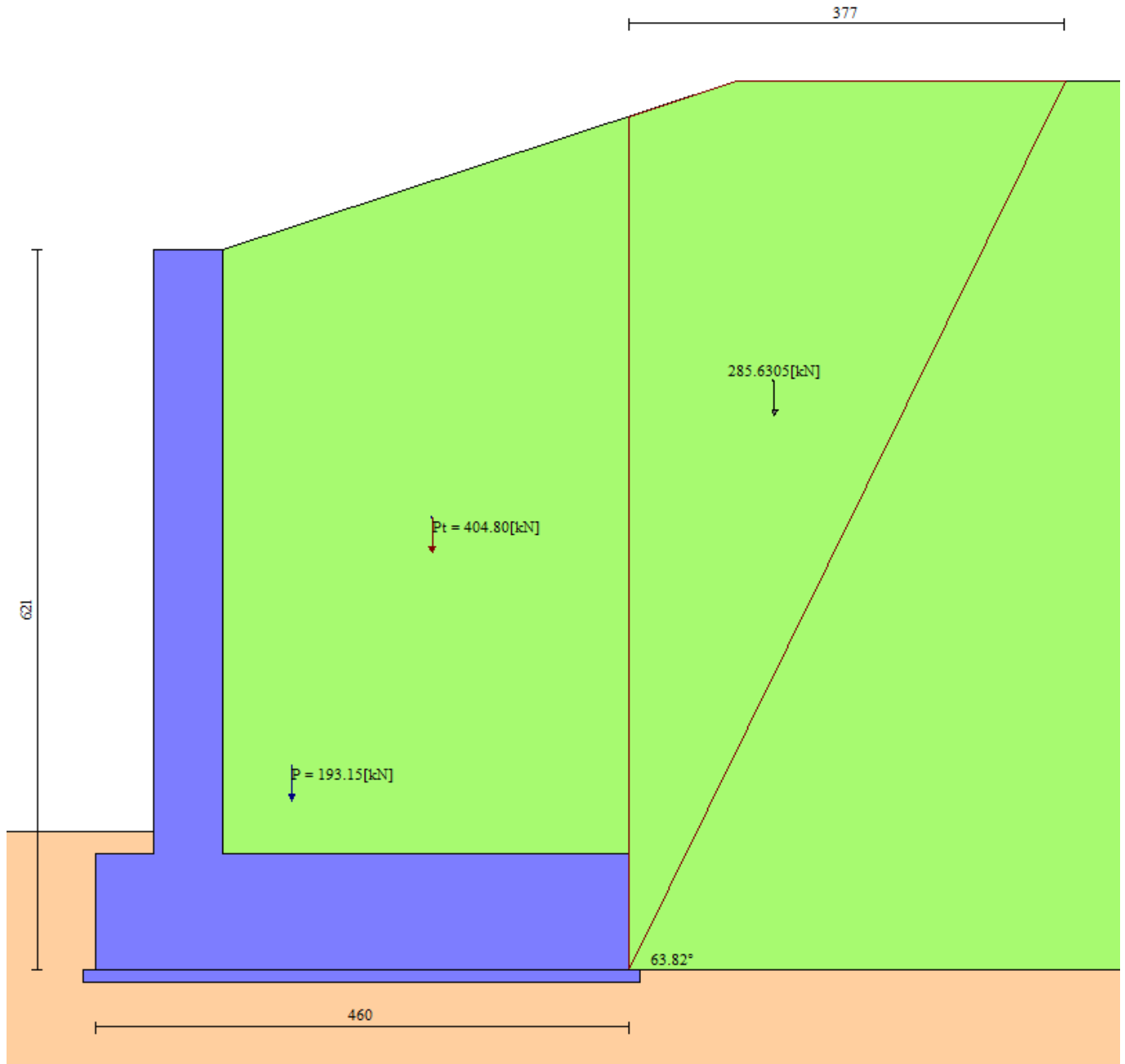


Figura 5 - comb. n. 10 SLERARA

10.1.3 Sollecitazioni

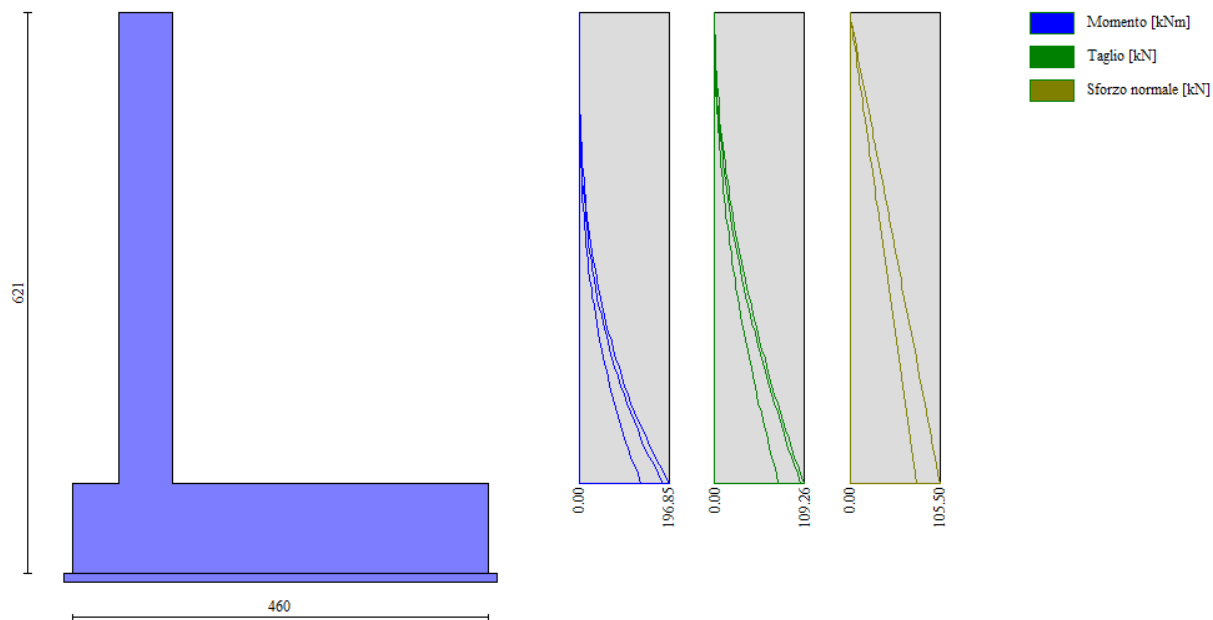


Figura 6 - sollecitazioni paramento inviluppo

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

- N Sforzo normale, espresso in [kN]. Positivo se di compressione.
T Taglio, espresso in [kN]. Positivo se diretto da monte verso valle
M Momento, espresso in [kNm]. Positivo se tende le fibre contro terra (a monte)

Paramento

| n° | X [m] | Nmin [kN] | Nmax [kN] | Tmin [kN] | Tmax [kN] | Mmin [kNm] | Mmax [kNm] |
|----|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -0.10 | 1.47 | 1.99 | 0.03 | 0.19 | 0.00 | 0.01 |
| 3 | -0.20 | 2.95 | 3.98 | 0.11 | 0.45 | 0.01 | 0.04 |
| 4 | -0.29 | 4.42 | 5.97 | 0.25 | 0.79 | 0.02 | 0.10 |
| 5 | -0.39 | 5.90 | 7.96 | 0.45 | 1.20 | 0.06 | 0.20 |
| 6 | -0.49 | 7.37 | 9.95 | 0.70 | 1.67 | 0.11 | 0.34 |
| 7 | -0.59 | 8.85 | 11.94 | 1.00 | 2.22 | 0.20 | 0.53 |
| 8 | -0.69 | 10.32 | 13.93 | 1.36 | 2.85 | 0.31 | 0.78 |
| 9 | -0.79 | 11.80 | 15.92 | 1.78 | 3.54 | 0.47 | 1.09 |
| 10 | -0.88 | 13.27 | 17.92 | 2.25 | 4.31 | 0.67 | 1.48 |
| 11 | -0.98 | 14.75 | 19.91 | 2.78 | 5.14 | 0.91 | 1.94 |
| 12 | -1.08 | 16.22 | 21.90 | 3.37 | 6.05 | 1.21 | 2.49 |
| 13 | -1.18 | 17.69 | 23.89 | 4.01 | 7.04 | 1.58 | 3.13 |
| 14 | -1.28 | 19.17 | 25.88 | 4.70 | 8.09 | 2.00 | 3.87 |
| 15 | -1.38 | 20.64 | 27.87 | 5.45 | 9.22 | 2.50 | 4.72 |
| 16 | -1.47 | 22.12 | 29.86 | 6.26 | 10.41 | 3.08 | 5.69 |
| 17 | -1.57 | 23.59 | 31.85 | 7.12 | 11.68 | 3.73 | 6.77 |
| 18 | -1.67 | 25.07 | 33.84 | 8.04 | 13.02 | 4.48 | 7.99 |
| 19 | -1.77 | 26.54 | 35.83 | 9.01 | 14.44 | 5.32 | 9.34 |
| 20 | -1.87 | 28.02 | 37.82 | 10.04 | 15.92 | 6.25 | 10.83 |
| 21 | -1.97 | 29.49 | 39.81 | 11.12 | 17.48 | 7.29 | 12.47 |
| 22 | -2.06 | 30.97 | 41.80 | 12.26 | 19.11 | 8.44 | 14.27 |
| 23 | -2.16 | 32.44 | 43.79 | 13.46 | 20.81 | 9.70 | 16.23 |
| 24 | -2.26 | 33.91 | 45.78 | 14.71 | 22.59 | 11.09 | 18.36 |
| 25 | -2.36 | 35.39 | 47.77 | 16.01 | 24.43 | 12.60 | 20.67 |
| 26 | -2.46 | 36.86 | 49.77 | 17.37 | 26.35 | 14.24 | 23.17 |
| 27 | -2.56 | 38.34 | 51.76 | 18.79 | 28.34 | 16.01 | 25.86 |
| 28 | -2.65 | 39.81 | 53.75 | 20.27 | 30.40 | 17.93 | 28.74 |
| 29 | -2.75 | 41.29 | 55.74 | 21.79 | 32.53 | 20.00 | 31.84 |
| 30 | -2.85 | 42.76 | 57.73 | 23.38 | 34.74 | 22.22 | 35.14 |

| n° | X [m] | Nmin [kN] | Nmax [kN] | Tmin [kN] | Tmax [kN] | Mmin [kNm] | Mmax [kNm] |
|----|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 31 | -2.95 | 44.24 | 59.72 | 25.02 | 37.02 | 24.60 | 38.67 |
| 32 | -3.05 | 45.71 | 61.71 | 26.71 | 39.37 | 27.14 | 42.42 |
| 33 | -3.15 | 47.18 | 63.70 | 28.46 | 41.79 | 29.85 | 46.41 |
| 34 | -3.24 | 48.66 | 65.69 | 30.27 | 44.28 | 32.74 | 50.64 |
| 35 | -3.34 | 50.13 | 67.68 | 32.13 | 46.85 | 35.81 | 55.12 |
| 36 | -3.44 | 51.61 | 69.67 | 34.05 | 49.48 | 39.06 | 59.85 |
| 37 | -3.54 | 53.08 | 71.66 | 36.03 | 52.19 | 42.50 | 64.85 |
| 38 | -3.64 | 54.56 | 73.65 | 38.05 | 54.97 | 46.14 | 70.11 |
| 39 | -3.74 | 56.03 | 75.64 | 40.14 | 57.83 | 49.99 | 75.66 |
| 40 | -3.83 | 57.51 | 77.63 | 42.28 | 60.75 | 54.04 | 81.49 |
| 41 | -3.93 | 58.98 | 79.62 | 44.47 | 63.75 | 58.30 | 87.60 |
| 42 | -4.03 | 60.46 | 81.62 | 46.73 | 66.82 | 62.78 | 94.02 |
| 43 | -4.13 | 61.93 | 83.61 | 49.03 | 69.96 | 67.49 | 100.74 |
| 44 | -4.23 | 63.40 | 85.60 | 51.40 | 73.17 | 72.42 | 107.78 |
| 45 | -4.33 | 64.88 | 87.59 | 53.81 | 76.46 | 77.59 | 115.13 |
| 46 | -4.42 | 66.35 | 89.58 | 56.29 | 79.81 | 83.01 | 122.81 |
| 47 | -4.52 | 67.83 | 91.57 | 58.82 | 83.24 | 88.66 | 130.82 |
| 48 | -4.62 | 69.30 | 93.56 | 61.40 | 86.74 | 94.57 | 139.18 |
| 49 | -4.72 | 70.78 | 95.55 | 64.04 | 90.31 | 100.74 | 147.88 |
| 50 | -4.82 | 72.25 | 97.54 | 66.74 | 93.96 | 107.16 | 156.94 |
| 51 | -4.92 | 73.73 | 99.53 | 69.49 | 97.68 | 113.86 | 166.36 |
| 52 | -5.01 | 75.20 | 101.52 | 72.30 | 101.46 | 120.83 | 176.14 |
| 53 | -5.11 | 76.68 | 103.51 | 75.16 | 105.33 | 128.08 | 186.31 |
| 54 | -5.21 | 78.15 | 105.50 | 78.08 | 109.26 | 135.61 | 196.85 |

Fondazione

| n° | X [m] | Nmin [kN] | Nmax [kN] | Tmin [kN] | Tmax [kN] | Mmin [kNm] | Mmax [kNm] |
|----|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1 | -1.10 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | -1.02 | 0.00 | 0.00 | 13.81 | 20.37 | 0.58 | 0.85 |
| 3 | -0.93 | 0.00 | 0.00 | 27.44 | 40.31 | 2.30 | 3.38 |
| 4 | -0.85 | 0.00 | 0.00 | 40.87 | 59.82 | 5.14 | 7.56 |
| 5 | -0.77 | 0.00 | 0.00 | 54.12 | 78.90 | 9.10 | 13.34 |
| 6 | -0.68 | 0.00 | 0.00 | 67.19 | 97.55 | 14.16 | 20.70 |
| 7 | -0.60 | 0.00 | 0.00 | 80.06 | 115.77 | 20.30 | 29.59 |
| 8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | -259.62 | -89.12 | -635.50 | -275.45 |
| 9 | 0.10 | 0.00 | 0.00 | -260.82 | -92.26 | -609.48 | -266.38 |
| 10 | 0.20 | 0.00 | 0.00 | -261.51 | -95.06 | -584.03 | -257.01 |
| 11 | 0.30 | 0.00 | 0.00 | -261.70 | -97.53 | -558.69 | -247.37 |
| 12 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | -261.38 | -99.67 | -533.25 | -237.51 |
| 13 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | -260.56 | -101.47 | -507.76 | -227.45 |
| 14 | 0.60 | 0.00 | 0.00 | -259.23 | -102.94 | -482.29 | -217.23 |
| 15 | 0.70 | 0.00 | 0.00 | -257.39 | -104.07 | -456.89 | -206.88 |
| 16 | 0.80 | 0.00 | 0.00 | -255.04 | -104.87 | -431.61 | -196.43 |
| 17 | 0.90 | 0.00 | 0.00 | -252.19 | -105.33 | -406.52 | -185.91 |
| 18 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | -248.82 | -105.46 | -381.66 | -175.37 |
| 19 | 1.10 | 0.00 | 0.00 | -244.96 | -105.25 | -357.09 | -164.83 |
| 20 | 1.20 | 0.00 | 0.00 | -240.58 | -104.72 | -332.87 | -154.33 |
| 21 | 1.30 | 0.00 | 0.00 | -235.97 | -103.84 | -309.05 | -143.90 |
| 22 | 1.40 | 0.00 | 0.00 | -231.10 | -102.63 | -285.69 | -133.58 |
| 23 | 1.50 | 0.00 | 0.00 | -225.67 | -101.09 | -262.85 | -123.39 |
| 24 | 1.60 | 0.00 | 0.00 | -219.69 | -99.21 | -240.58 | -113.37 |
| 25 | 1.70 | 0.00 | 0.00 | -213.14 | -97.00 | -218.93 | -103.55 |
| 26 | 1.80 | 0.00 | 0.00 | -206.04 | -94.45 | -197.97 | -93.98 |
| 27 | 1.90 | 0.00 | 0.00 | -198.38 | -91.57 | -177.74 | -84.67 |
| 28 | 2.00 | 0.00 | 0.00 | -190.17 | -88.36 | -158.31 | -75.68 |
| 29 | 2.10 | 0.00 | 0.00 | -181.39 | -84.81 | -139.73 | -67.01 |
| 30 | 2.20 | 0.00 | 0.00 | -172.06 | -80.93 | -122.05 | -58.72 |
| 31 | 2.30 | 0.00 | 0.00 | -162.17 | -76.71 | -105.33 | -50.84 |
| 32 | 2.40 | 0.00 | 0.00 | -151.72 | -72.15 | -89.63 | -43.39 |
| 33 | 2.50 | 0.00 | 0.00 | -140.72 | -67.27 | -75.01 | -36.42 |
| 34 | 2.60 | 0.00 | 0.00 | -129.16 | -62.05 | -61.51 | -29.95 |
| 35 | 2.70 | 0.00 | 0.00 | -117.04 | -56.49 | -49.19 | -24.02 |
| 36 | 2.80 | 0.00 | 0.00 | -104.36 | -50.60 | -38.12 | -18.67 |
| 37 | 2.90 | 0.00 | 0.00 | -91.12 | -44.37 | -28.34 | -13.91 |
| 38 | 3.00 | 0.00 | 0.00 | -77.33 | -37.81 | -19.91 | -9.80 |
| 39 | 3.10 | 0.00 | 0.00 | -62.98 | -30.92 | -12.89 | -6.36 |
| 40 | 3.20 | 0.00 | 0.00 | -48.07 | -23.69 | -7.34 | -3.63 |
| 41 | 3.30 | 0.00 | 0.00 | -32.61 | -16.13 | -3.30 | -1.64 |
| 42 | 3.40 | 0.00 | 0.00 | -16.58 | -8.23 | -0.83 | -0.41 |
| 43 | 3.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

10.1.4 Verifiche geotecniche

| Cmb | Sismica | FS _{SCO} | FS _{RIB} | FS _{QLIM} | FS _{STAB} | FS _{HYD} | FS _{UPL} |
|--------------------|---------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 - STR (A1-M1-R3) | | 1.563 | | 42.236 | | | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) | H | 1.249 | | 42.236 | | | |

| Cmb | Sismica | FSsco | FSRIB | FSQLIM | FSSTAB | FSHYD | FSUPL |
|--------------------|---------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 3 - STR (A1-M1-R3) | | 2.110 | | 31.286 | | | |
| 4 - STR (A1-M1-R3) | | 1.934 | | 34.146 | | | |
| 5 - STR (A1-M1-R3) | | 1.740 | | 37.946 | | | |
| 6 - GEO (A2-M2-R2) | | | | | 1.953 | | |
| 7 - GEO (A2-M2-R2) | H | | | | 1.594 | | |
| 8 - EQU (A1-M1-R3) | | | 3.334 | | | | |
| 9 - EQU (A1-M1-R3) | H | | 1.943 | | | | |

10.1.4.1 Verifica a scorrimento

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| n° | Indice combinazione |
| Rsa | Resistenza allo scorrimento per attrito, espresso in [kN] |
| Rpt | Resistenza passiva terreno antistante, espresso in [kN] |
| Rps | Resistenza passiva sperone, espresso in [kN] |
| Rp | Resistenza a carichi orizzontali pali (solo per fondazione mista), espresso in [kN] |
| Rt | Resistenza a carichi orizzontali tiranti (solo se presenti), espresso in [kN] |
| R | Resistenza allo scorrimento (somma di Rsa+Rpt+Rps+Rp), espresso in [kN] |
| T | Carico parallelo al piano di posa, espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto R/T) |

| n° | Rsa | Rpt | Rps | Rp | Rt | R | T | FS |
|----------------------|--------|------|------|------|------|--------|--------|-------|
| | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 2 - STR (A1-M1-R3) H | 291.64 | 0.00 | 0.00 | -- | -- | 291.64 | 233.44 | 1.249 |

10.1.4.2 Verifica a carico limite

Simbologia adottata

| | |
|----|--|
| n° | Indice combinazione |
| N | Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN] |
| Qu | carico limite del terreno, espresso in [kN] |
| Qd | Portanza di progetto, espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa) |

| n° | N | Qu | Qd | FS |
|--------------------|--------|----------|----------|--------|
| | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 3 - STR (A1-M1-R3) | 807.23 | 25254.86 | 18039.18 | 31.286 |

10.1.4.3 Verifica a ribaltamento

Simbologia adottata

| | |
|----|--|
| n° | Indice combinazione |
| N | Carico normale totale al piano di posa, espresso in [kN] |
| Qu | carico limite del terreno, espresso in [kN] |
| Qd | Portanza di progetto, espresso in [kN] |
| FS | Fattore di sicurezza (rapporto tra il carico limie e carico agente al piano di posa) |

| n° | Ms | Mr | FS |
|----------------------|---------|--------|-------|
| | [kNm] | [kNm] | |
| 9 - EQU (A1-M1-R3) H | 1504.08 | 773.98 | 1.943 |

10.1.4.4 Verifica di stabilità Globale

Verifica stabilità globale muro + terreno

Simbologia adottata

| | |
|----|---|
| Ic | Indice/Tipo combinazione |
| C | Centro superficie di scorrimento, espresso in [m] |
| R | Raggio, espresso in [m] |
| FS | Fattore di sicurezza |

| Ic | C | R | FS |
|----------------------|-------------|-------|-------|
| | [m] | [m] | |
| 7 - GEO (A2-M2-R2) H | -1.17; 5.27 | 12.40 | 1.594 |

10.1.5 Verifiche strutturali

10.1.5.1 Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espressa in [cm] |
| H | altezza sezione espressa in [cm] |
| Afi | area ferri inferiori espressa in [cmq] |
| Afs | area ferri superiori espressa in [cmq] |
| M | momento agente espressa in [kNm] |
| N | sforzo normale agente espressa in [kN] |
| Mu | momento ultimi espressa in [kNm] |
| Nu | sforzo normale ultimo espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione ultima e sollecitazione agente) |

Paramento

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mu | Nu | FS |
|----|------|------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| | [cm] | [cm] | [cmq] | [cmq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 54 | 100 | 60 | 10.05 | 10.05 | 196.85 | 78.15 | 229.27 | 91.02 | 1.165 |

Si considerano: 5Φ16 + 5Φ16 armatura minima

Fondazione

| n° | B | H | Afi | Afs | M | N | Mu | Nu | FS |
|----|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|-------|
| | [cm] | [cm] | [cmq] | [cmq] | [kNm] | [kN] | [kNm] | [kN] | |
| 8 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -635.50 | 0.00 | -926.14 | 0.00 | 1.457 |

Si considerano: 5Φ26 + 5Φ26 armatura minima

10.1.5.2 Verifiche a taglio

Simbologia adottata

| | |
|------------------|---|
| Is | indice sezione |
| Y | ordinata sezione espressa in [m] |
| B | larghezza sezione espressa in [cm] |
| H | altezza sezione espressa in [cm] |
| A _{sw} | area ferri a taglio espressa in [cmq] |
| cotθ | inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo |
| V _{Rcd} | resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kN] |
| V _{Rsd} | resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kN] |
| V _{Rd} | resistenza di progetto a taglio espressa in [kN]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A _{sw} >0.0) V _{Rd} =min(V _{Rcd} , V _{Rsd}). |
| T | taglio agente espressa in [kN] |
| FS | fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente) |

Paramento

| n° | B | H | A _{sw} | cotθ | V _{Rcd} | V _{Rsd} | V _{Rd} | T | FS |
|----|------|------|-----------------|------|------------------|------------------|-----------------|--------|-------|
| | [cm] | [cm] | [cmq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 54 | 100 | 60 | 0.00 | -- | 0.00 | 0.00 | 254.47 | 109.26 | 2.329 |

Fondazione

| n° | B | H | A _{sw} | cotθ | V _{Rcd} | V _{Rsd} | V _{Rd} | T | FS |
|----|------|------|-----------------|------|------------------|------------------|-----------------|---------|-------|
| | [cm] | [cm] | [cmq] | | [kN] | [kN] | [kN] | [kN] | |
| 11 | 100 | 100 | 0.00 | -- | 0.00 | 0.00 | 442.27 | -261.70 | 1.690 |

10.1.5.3 Verifiche SLE RARA (Tensioni)

Simbologia adottata

| | |
|-----|---|
| n° | indice sezione |
| Y | ordinata sezione, espressa in [m] |
| B | larghezza sezione, espressa in [cm] |
| H | altezza sezione, espressa in [cm] |
| Afi | area ferri inferiori, espresso in [cmq] |
| Afs | area ferri superiori, espressa in [cmq] |

IN1M11D26CLSL0200002A

M momento agente, espressa in [kNm]
 N sforzo normale agente, espressa in [kN]
 σ_c tensione di compressione nel cls, espressa in [MPa]
 σ_{fi} tensione nei ferri inferiori, espressa in [MPa]
 σ_{fs} tensione nei ferri superiori, espressa in [MPa]

Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13.280 [MPa]
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 337.452 [MPa]

| n° | B [cm] | H [cm] | Afi [cmq] | Afs [cmq] | M [kNm] | N [kN] | σ_c [MPa] | σ_{fi} [MPa] | σ_{fs} [MPa] |
|----|-----------|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 54 | 100 | 60 | 10.05 | 10.05 | 135.61 | 78.15 | 4.565 (10) | 232.668 (10) | 33.148 (10) |

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 13.280 [MPa]
 Tensione massima di trazione dell'acciaio 337.452 [MPa]

| n° | B [cm] | H [cm] | Afi [cmq] | Afs [cmq] | M [kNm] | N [kN] | σ_c [MPa] | σ_{fi} [MPa] | σ_{fs} [MPa] |
|----|-----------|-----------|--------------|--------------|------------|-----------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 8 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -275.45 | 0.00 | 2.387 (10) | 24.409 (10) | 120.448 (10) |
| 9 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -266.38 | 0.00 | 2.309 (10) | 23.605 (10) | 116.481 (10) |
| 10 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -257.01 | 0.00 | 2.227 (10) | 22.775 (10) | 112.385 (10) |
| 11 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -247.37 | 0.00 | 2.144 (10) | 21.921 (10) | 108.173 (10) |
| 12 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -237.51 | 0.00 | 2.059 (10) | 21.047 (10) | 103.860 (10) |
| 13 | 100 | 100 | 26.55 | 26.55 | -227.45 | 0.00 | 1.971 (10) | 20.156 (10) | 99.461 (10) |

10.1.5.4 Verifiche SLE RARA (Fessurazioni)

Verifica a fessurazione

Simbologia adottata

n° indice sezione
 Y ordinata sezione espressa in [m]
 B larghezza sezione espressa in [cm]
 H altezza sezione espressa in [cm]
 Af area ferri zona tesa espressa in [cmq]
 Aeff area efficace espressa in [cmq]
 M momento agente espressa in [kNm]
 Mpf momento di prima fessurazione espressa in [kNm]
 ϵ deformazione espressa in %
 Sm spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
 w apertura delle fessure espressa in [mm]

Combinazioni SLER

Paramento

Apertura limite fessure $w_{lim}=0.20$

| n° | B [cm] | H [cm] | Af [cmq] | Aeff [cmq] | M [kNm] | Mpf [kNm] | ϵ [%] | Sm [mm] | w [mm] |
|----|-----------|-----------|-------------|---------------|------------|--------------|-------------------|------------|------------|
| 54 | 100 | 60 | 10.05 | 1575.00 | 135.61 | 252.26 | 0.000000 | 0.00 | 0.000 (10) |

Fondazione

Apertura limite fessure $w_{lim}=0.20$

IN1M11D26CLSL0200002A



LINEA A.V./A.C.MILANO-VERONA

PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI
BRESCIA

Relazione Di Calcolo Muri D'ala

| | | | | | |
|----------|-------|----------|-----------|------|----------|
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | PAGINE |
| IN1M | 11 | D 26CL | SL0200002 | A | 25 di 25 |

| n° | B [cm] | H [cm] | Af [cmq] | Aeff [cmq] | M [kNm] | Mpf [kNm] | ε | Sm [mm] | w [mm] |
|----|-----------|-----------|-------------|---------------|------------|--------------|----------|------------|------------|
| 8 | 100 | 100 | 26.55 | 1700.00 | -275.45 | -730.32 | 0.000000 | 0.00 | 0.000 (10) |