

**DIREZIONE OPERE PUBBLICHE**

<b>Città Metropolitana di TORINO</b>		<b>COMUNE DI PINO TORINESE</b>	
LIVELLO PROGETTUALE		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>	
CUP <b>F21B08000270002</b>	TITOLO INTERVENTO <b>ADEGUAMENTO FUNZIONALE TRATTO PINO TORINESE (GALLERIA) - CONFINE PROVINCIALE - II LOTTO</b>		
CODICE OPERA <b>020TO09</b>			
Elaborato n. <b>07</b>	TITOLO ELABORATO <b>RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE</b>		
DATA <b>OTTOBRE 2021</b>	SCALA <b>--</b>	AREA PROGETTUALE <b>GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>	
FORMATO ELABORATO	CODICE GENERALE ELABORATO <b>020TO09 0 0 E GG 00 CD 007 0</b>		
NOME FILE			
VERSIONE	DATA	DESCRIZIONE	
00	Ottobre 2021	Prima redazione Progetto Esecutivo	
RTP PROGETTAZIONE	TIMBRI - FIRME  Responsabile del progetto: Dott. Ing. Gianluca Noascono Responsabile dell'elaborato: Dott. Ing. Gianluca Odetto		
RTI ESECUZIONE	TIMBRI - FIRME  Direttore Tecnico: .....		
ORGANISMO DI CONTROLLO	S.C.R. PIEMONTE S.P.A.		
Responsabile di Commessa: .....	Responsabile del Procedimento: Dott. Ing. Michele Niviera		

## **INDICE**

INDICE .....	1
1. PREMESSE .....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
3. INTERVENTO IN PROGETTO, INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO, DESCRIZIONE, GEOMETRIA, METODO E CODICE DI CALCOLO .....	5
3.1. Inquadramento Topografico .....	6
3.2. Descrizione intervento in progetto.....	7
3.3. Geometria.....	8
3.4. Metodo e codice di calcolo .....	10
4. DATI DELLA STRUTTURA, ZONIZZAZIONE SISMICA, VITA NOMINALE, CLASSE D'USO.....	12
4.1. Analisi delle condizioni di stabilità dei muri di sostegno .....	18
5. CARATTERISTICHE E RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI UTILIZZATI.....	19
5.1. Calcestruzzo.....	19
5.1.1. Classe di esposizione ambientale .....	19
5.1.2. Classe di consistenza del calcestruzzo .....	22
5.1.3. Classe di consistenza del calcestruzzo .....	23
5.1.4. Determinazione del copriferro .....	23
5.2. Acciaio: sensibilità alla corrosione delle armature.....	24
5.3. Scelta degli stati limite di fessurazione .....	25
5.4. Durabilità .....	26
5.5. Materiali utilizzati .....	26
5.5.1. Calcestruzzo C25/30.....	26
5.5.2. Acciaio B450C .....	26
6. PARAMETRI GEOTECNICI E CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE.....	27
6.1. Parametri geotecnici .....	27
6.2. Condizioni idrogeologiche .....	27
7. AZIONI.....	28
7.1. Carichi permanenti strutturali .....	28
7.2. Carichi permanenti non strutturali .....	28
7.3. Carichi variabili.....	28
8. COMINAZIONI DI CARICO .....	28

---

8.1.	Muro A.....	30
8.2.	Muro B.....	33
9.	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	37
9.1.	Muro A: in c.a. ....	37
9.1.1.	Geometria e modello di calcolo.....	37
9.1.2.	Sollecitazioni agenti .....	38
9.1.3.	Risultati delle verifiche geotecniche.....	40
9.1.4.	Risultati delle verifiche strutturali.....	40
9.2.	Muro B: in c.a. ....	47
9.2.1.	Geometria e modello di calcolo.....	47
9.2.2.	Sollecitazioni agenti .....	49
9.2.3.	Risultati delle verifiche geotecniche.....	50
9.2.4.	Risultati delle verifiche strutturali.....	51
10.	CONCLUSIONI .....	61

## **1. PREMESSE**

La relazione illustra i risultati delle verifiche geotecniche di stabilità e strutturali effettuate per le opere previste nell'ambito del progetto di "ADEGUAMENTO FUNZIONALE TRATTO PINO TORINESE (GALLERIA)-CONFINO PROVINCIALE [EX S.R. 10]" - II LOTTO (COD. 020TO09)", da realizzare nell'ambito del territorio comunale di Pino Torinese (To). Nel dettaglio, l'intervento in progetto riguarda l'adeguamento funzionale e messa in sicurezza di un incrocio della strada Provinciale n.10 nel territorio comunale di Pino Torinese mediante la realizzazione di rotatorie. L'intervento prevede due rotatorie per il collegamento della strada provinciale n.10 alla strada comunale Via Folis.

Le opere in progetto che necessitano di verifiche geotecniche e strutturali sono costituite da una palificata in legno a doppia parete e da un muro di contenimento in c.a..

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di sedime presenti, si fa riferimento all' "Elab.4\_Relazione\_geotecnica", in cui sono stati inoltre esposti i risultati di verifica a capacità portante per i plinti dei pali di illuminazione.

## **2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- D.M. del 17/01/2018 – "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 D.M. del 17/01/2018.
- Legge n°1086 del 05/11/1971 – "Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica";
- D.M. del 14/02/1992 – "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- D.M. del 09/01/1996 – "Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche";
- D.M. 11 Marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle fondazioni".
- Circ. Min. LL.PP. n° 30483 del 24 Settembre 1988 "Istruzioni relative alla norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle fondazioni".
- Legge n° 64 del 02/02/1974 – "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche";
- D.M. del 24/01/1986 – "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche";
- D.M. del 16/01/1996 – "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche";
- Circolare n° 65 del 10/04/1997 – "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. del 16/01/1996";

- 
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27.07.2007;
  - D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014;
  - Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 OPCM 3519/2006. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65-7656.

Conformemente a quanto previsto dal paragrafo 12 del D.M 17/01/2018 si sono considerati anche i seguenti riferimenti tecnici che si intendono coerenti con i principi del D.M. stesso:

- EUROCODICE 2 – “Progettazione delle strutture in calcestruzzo”;
- EUROCODICE 7 – “Progettazione geotecnica”;
- EUROCODICE 8 – “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica” e appendice nazionale;
- NORMA UNI EN 206 – 1: 2006 “Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;

Per quanto non specificatamente indicato nei suddetti documenti e per quanto con essi non in contrasto si sono considerati i seguenti riferimenti:

- Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori pubblici – “Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive”.

### **3. INTERVENTO IN PROGETTO, INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO, DESCRIZIONE, GEOMETRIA, METODO E CODICE DI CALCOLO**

L'intervento in progetto riguarda l'adeguamento funzionale e messa in sicurezza di un incrocio della strada Provinciale n.10 nel territorio comunale di Pino Torinese mediante la realizzazione di rotatorie. L'intervento prevede due rotatorie per il collegamento della strada provinciale n.10 alla strada comunale Via Folis.



*Figura 1 - Inquadramento fotografico dello stato attuale.*

### 3.1. Inquadramento Topografico

L'intervento in progetto riguarda l'adeguamento funzionale e messa in sicurezza di un incrocio della strada Provinciale n.10 nel territorio comunale di Pino Torinese mediante la realizzazione di rotatorie. L'intervento prevede due rotatorie per il collegamento della strada provinciale n.10 alla strada comunale Via Folis. ed hanno il seguente riscontro su Carta Tecnica Regionale CTR: 172150.

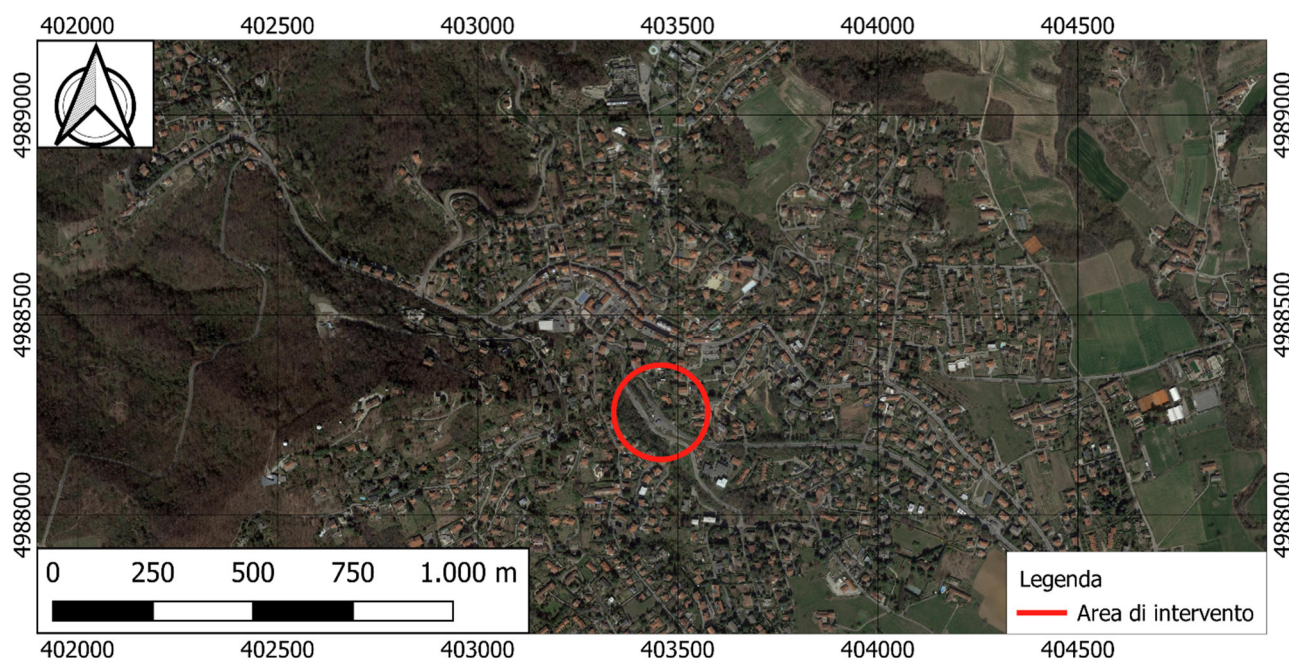
Le coordinate baricentriche, geografiche e chilometriche UTM WGS 84, del luogo in cui sono previste le opere in progetto sono le seguenti:

Geografiche	
Latitudine	45.040606 N
Longitudine	7.774783 E

Chilometriche	
Nord	4988191.4199 m N
Est	403502.429 m E

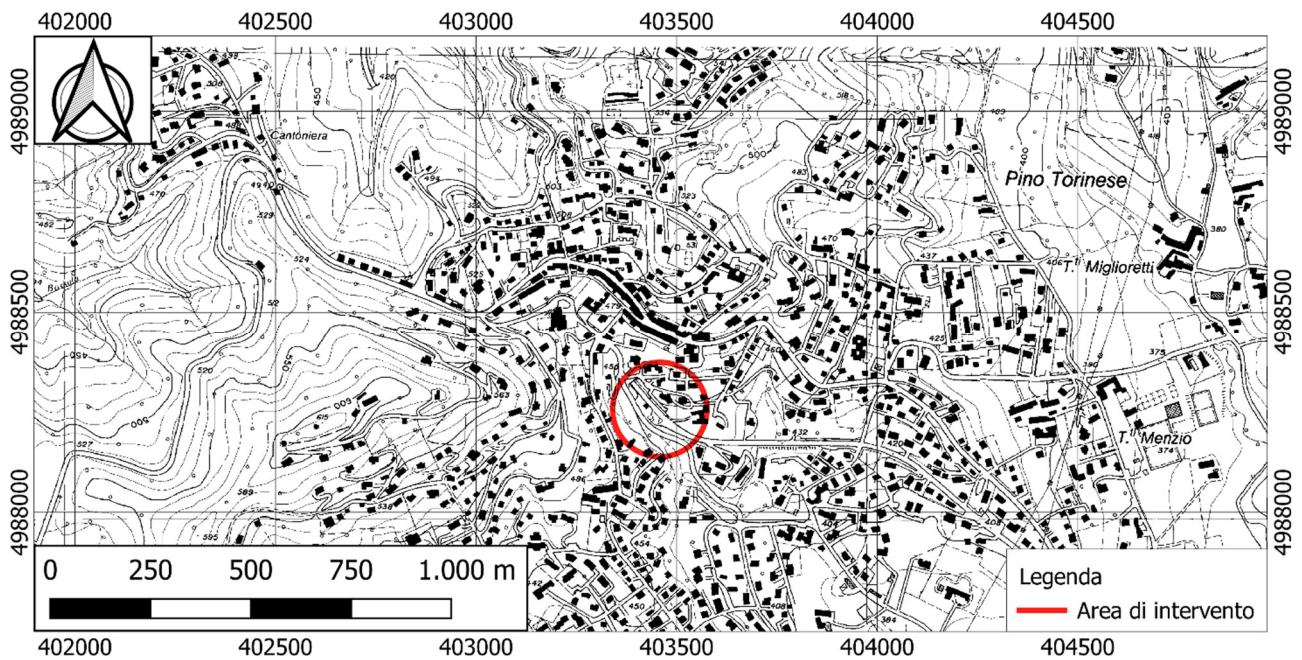
L'altezza è di circa 440 m.

Si riportano a seguire degli estratti cartografici con individuazione dell'ubicazione dell'intervento.



*Figura 2 Inquadramento topografico su ortofoto da Google Earth*





*Figura 3 Inquadramento topografico su CTR 156140*

## **3.2. Descrizione intervento in progetto**

Le opere di valenza geotecnico-strutturale ricomprese nel progetto riguardano:

- Due muri in c.a. di contenimento (Muro A, Muro B);
- i basamenti delle opere accessorie quali i plinti di fondazione dei pali di illuminazione e dei cartelli segnaletici in progetto.

Nell'ambito del presente elaborato, come anticipato in premessa, vengono esposti i risultati delle verifiche geotecniche e strutturali delle opere in progetto (Muro A, Muro B). Per la valutazione della capacità portante dei terreni per i plinti di fondazione dei pali di illuminazione si rimanda all' "Elab.4\_Relazione\_geotecnica".





Figura 4 Estratto da tavola "55\_Tav.21\_Armature muri in c.a."

### 3.3. Geometria

Muro A in c.a. presenta uno sviluppo longitudinale di circa 80 m ed una sezione costante: paramento di altezza 50 cm e larghezza 25 cm; fondazione di larghezza 75 cm con mensola di valle e mensola di monte di 25 cm e spessore 30 cm.

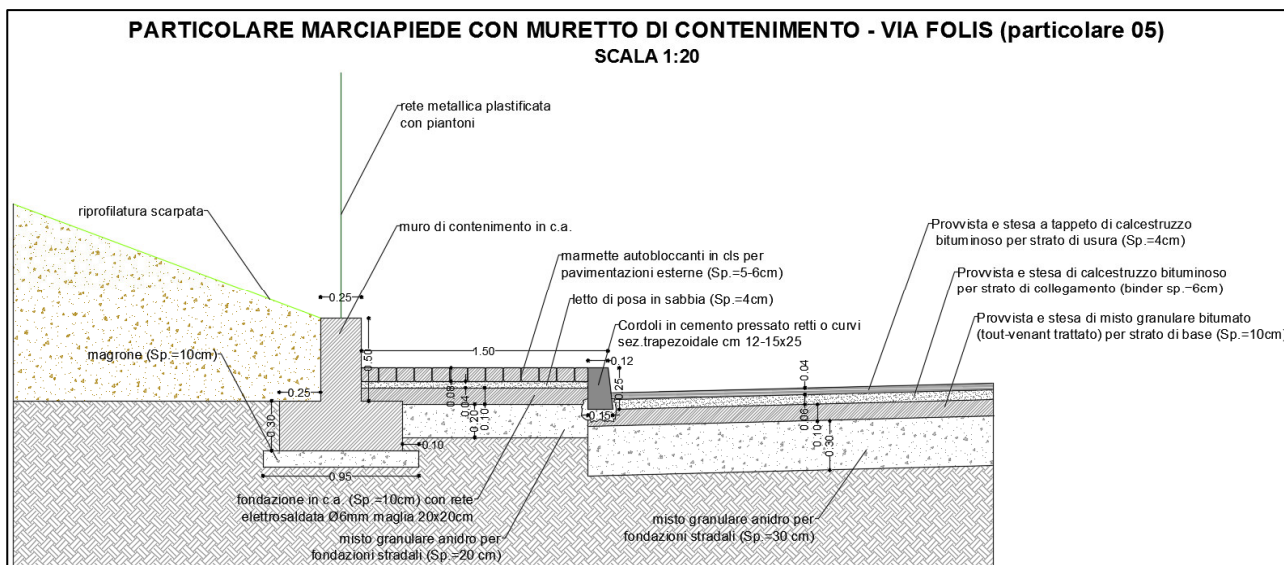
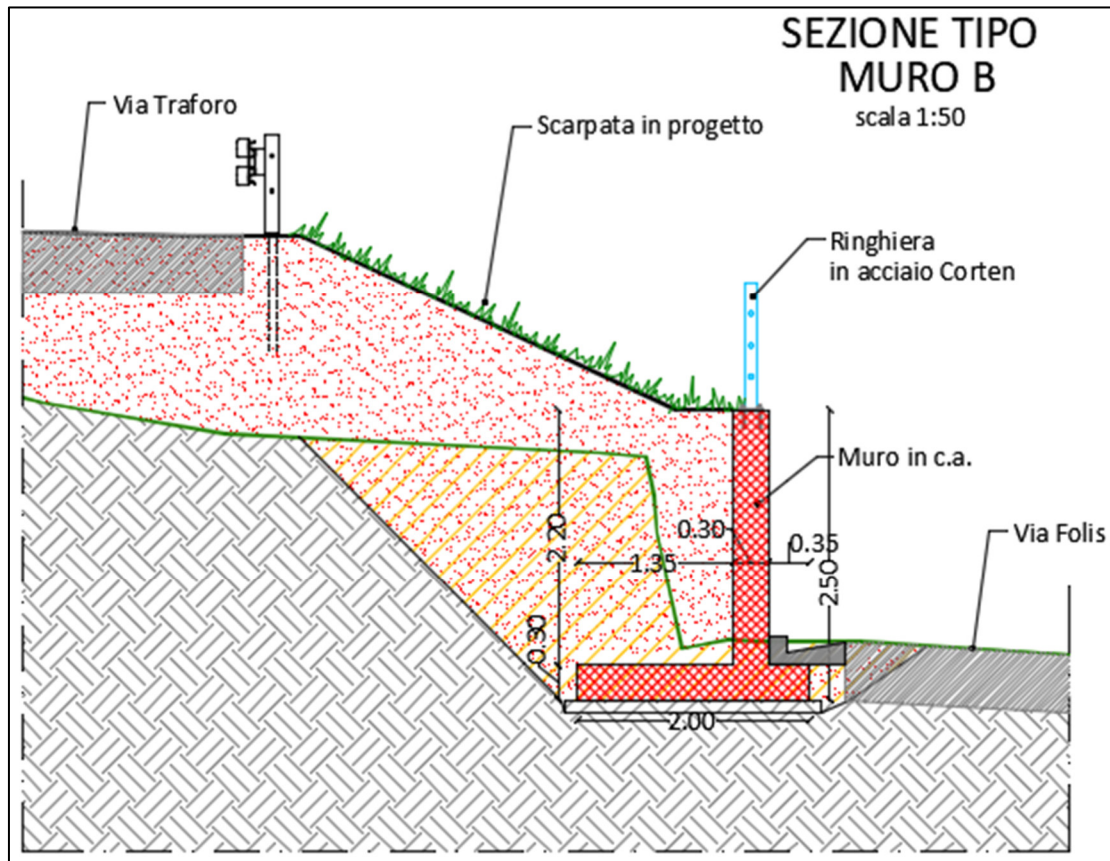


Figura 5 Estratto da tavola "49.Tav.19\_Particolari"

Muro B in c.a. presenta uno sviluppo longitudinale di circa 25 m ed una sezione costante: paramento di altezza 2.10 m e larghezza 30 cm; fondazione di larghezza totale di 2.00 m con mensola di valle di 0.35 m e mensola di monte di 1.35 m e spessore 30 cm.



*Figura 6 Estratto da tavola "54\_Tav\_21\_Armature muri in c.a."*

---

### 3.4. Metodo e codice di calcolo

I calcoli per il dimensionamento strutturale delle opere sono stati condotti adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite, verificandone i requisiti di sicurezza allo stato limite ultimo (anche sotto l'azione sismica) e allo stato limite di esercizio. L'analisi delle azioni sismiche ha comportato inoltre la valutazione delle relative deformazioni.

La schematizzazione della procedura progettuale adottata può essere sinteticamente così riassunta:

- Individuazione della classe d'uso dell'opera e della sua vita utile;
- Definizione delle azioni agenti in condizioni statiche e dinamiche attraverso l'individuazione delle condizioni di carico;
- Predisposizione delle combinazioni di carico, con i relativi coefficienti di combinazione allo SLU, SLE, SLV, SLD;
- Analisi dell'involuppo delle azioni agenti;
- Dimensionamento degli elementi strutturali e verifica della funzionalità delle strutture progettate.

La sicurezza e le prestazioni sono state garantite verificando gli stati limite sopra definiti in funzione dell'utilizzo della struttura, della sua vita nominale e di quanto stabilito dalle norme.

L'analisi strutturale condotta è stata del tipo: **SISMICA STATICA EQUIVALENTE**.

Ai sensi del par. 6.5.3.1.1 delle NTC/2018, la verifica del muro di sostegno è stata effettuata con riferimento ai seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] della norma sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO)*
  - o scorrimento sul piano di posa;
  - o collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - o ribaltamento;
  - o stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- *SLU di tipo strutturale (STR)*
  - o raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

**Tab. 6.5.I - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

La modellazione della struttura e la rielaborazione dei risultati del calcolo sono stati effettuati con il programma di modellazione Max 16, prodotto da Aztec Utility.

Il software MAX è dedicato all'analisi e al calcolo dei muri di sostegno. I tipi di muro che è possibile analizzare con il programma Max sono:

- Muri a gravità;
- Muri a semigravità;
- Muri in calcestruzzo armato.

Possono essere inoltre considerati, in funzione del tipo di muro e del materiale che lo costituisce, muri con:

- Contrafforti;
- Mensole di contrappeso e di marciapiede;
- Pali di fondazione;
- Tiranti di ancoraggio.

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. La verifica della sicurezza degli elementi strutturali è stata valutata con i metodi della scienza delle costruzioni.

Il calcolo dei muri di sostegno viene eseguito secondo le seguenti fasi:

- Calcolo della spinta del terreno
- Verifica a ribaltamento
- Verifica a scorrimento del muro sul piano di posa
- Verifica della stabilità complesso fondazione terreno (carico limite)
- Verifica della stabilità globale
- Calcolo delle sollecitazioni sia del muro che della fondazione, progetto delle armature e relative verifiche dei materiali.

L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società

---

produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

## **4. DATI DELLA STRUTTURA, ZONIZZAZIONE SISMICA, VITA NOMINALE, CLASSE D'USO**

La classificazione sismica del territorio nazionale ha introdotto normative tecniche specifiche per le costruzioni di edifici, ponti ed altre opere in aree geografiche caratterizzate dal medesimo rischio sismico.

Si riporta di seguito la mappatura del Piemonte che riporta la classificazione sismica del territorio regionale, redatta ai sensi dell' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale del Piemonte n. 11-13058 del 19.01.2010, entrata in vigore con la D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 ed in seguito modificate con la D.G.R. n. 65-7656 del 21 maggio 2014 ed in seguito aggiornata nuovamente con l'entrata in vigore della Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 OPCM 3519/2006. Presa d'atto e approvazione dell'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Piemonte, di cui alla D.G.R. del 21 maggio 2014, n. 65-7656.



ALLEGATO 2

MAPPA DI ZONAZIONE SISMICA

La mappa è aggiornata alla situazione amministrativa esistente alla data del 6 febbraio 2019

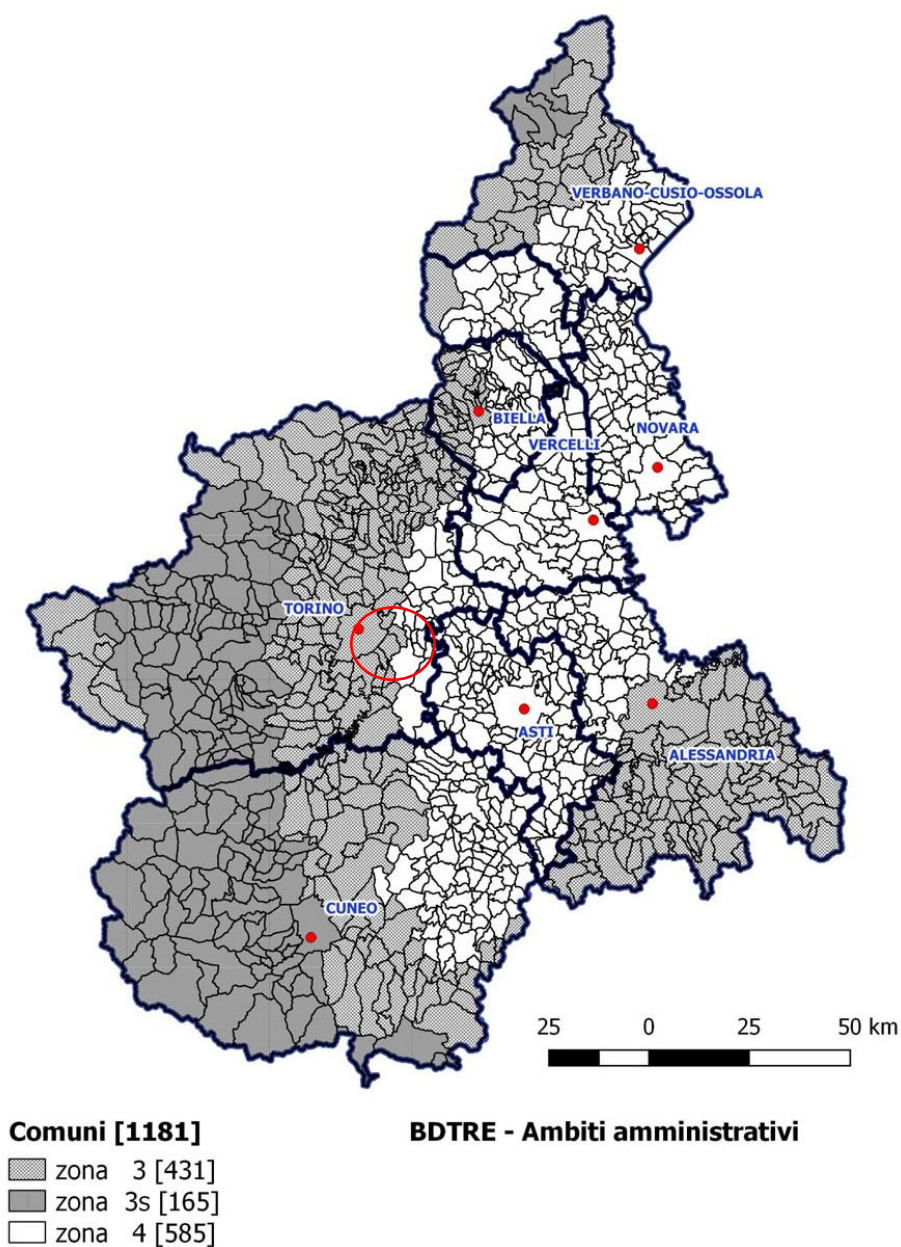


Figura 7: Nuova mappatura delle aree sismiche in Piemonte.

Il Comune di Pino Torinese (TO) rientra tra le aree classificate in Zona 3: Zona con pericolosità sismica bassa.



N.B. Il comune di Pino Torinese è passato dalla zona sismica 4 alla zona sismica 3 con deliberazione della Giunta Regionale n.6-887 del 30 dicembre 2019. Si evidenzia, tuttavia, che fino all'aggiornamento delle procedure per la gestione e il controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico, per la cui predisposizione la DGR ha fissato un periodo di 6 mesi, continueranno a valere le disposizioni vigenti, stabilite dalla D.G.R. 21 maggio 2014, n. 65-7656.

Nello specifico, nel periodo transitorio, per tutte le procedure in ambito urbanistico-edilizio disciplinate dalla DGR 21 maggio 2014 n° 65-7656 (controlli, autorizzazioni, pareri) vale la classificazione sismica allegata alla stessa DGR del 2014, che infatti si compone di una parte normativa e dei relativi ambiti territoriali di applicazione. La nuova classificazione rappresenta invece, da subito, il riferimento per tutte le altre finalità (vedi ad es. il "sismabonus").

Regione		<b>PIEMONTE</b>
Provincia		<b>TORINO</b>
Comune		<b>PINO TORINESE</b>
Coordinate Geografiche del cantiere	Latitudine	<b>45.040606 N</b>
	Longitudine	<b>7.774783 E</b>
Altitudine		<b>442 m s.l.m.</b>
Zona sismica		<b>ZONA 3</b>
Tipo di opera	TAB. 2.4.I D.M. 17/01/2018	<b>ORDINARIA</b>
Vita nominale $V_N$	P.to 2.4.1 D.M. 17/01/2018	<b>50 ANNI</b>
Classe d'uso	P.to 2.4.2 D.M. 17/01/2018	<b>III</b>
Coefficiente d'uso $C_U$	P.to 2.4.3 D.M. 17/01/2018	<b>1.5</b>
Periodo di riferimento per azione sismica $V_R$	P.to 2.4.3 D.M. 17/01/2018	<b>75 ANNI</b>

*Tabella 1 Dati della struttura e zona sismica*

Il periodo di riferimento  $V_R$  di una costruzione, valutato moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso della costruzione  $C_U$  riveste notevole importanza in quanto, assumendo che la legge di ricorrenza dell'azione sismica sia un processo Poissoniano, è utilizzato per valutare, fissata la probabilità di superamento  $P_{VR}$  corrispondente allo stato limite considerato, il periodo di ritorno  $T_R$  dell'azione sismica cui fare riferimento per la verifica. La seguente tabella mostra i valori di  $V_R$  corrispondenti ai valori di  $V_N$  che individuano le frontiere tra i tre tipi di costruzione considerati; valori di  $V_N$  intermedi tra detti valori di frontiera sono consentiti ed i corrispondenti valori dei parametri necessari a definire l'azione sismica sono ricavati utilizzando le formule d'interpolazione fornite nell'allegato A delle NTC 2008, così come previsto al paragrafo 3.2 delle NTC2018.

VITA NOMINALE $V_N$	VALORI DI $V_R$			
	CLASSE D'USO			
	I	II	III	IV
$\leq 10$	35	35	35	35
$\geq 50$	$\geq 35$	$\geq 50$	$\geq 75$	$\geq 100$
$\geq 100$	$\geq 70$	$\geq 100$	$\geq 150$	$\geq 200$

*Tabella 2 - Intervalli di valori attribuiti a  $V_R$  al variare di  $V_N$  e di  $C_U$*

Le Norme Tecniche per le Costruzioni individuano le azioni sismiche di progetto a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. Le NTC definiscono al par. 3.2 la pericolosità sismica in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ . Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c^*$ : valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il calcolo delle opere in oggetto è stato realizzato facendo riferimento ai seguenti parametri:

	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	$F_0$ [ ]	$T_c^*$ [s]
SLO	0.243	2.602	0.186
SLD	0.292	2.655	0.204
SLV	0.526	2.782	0.284
SLC	0.612	2.844	0.298

*Tabella 3 - Parametri sismici di progettazione*

L’analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

Nelle analisi si deve tenere conto dei comportamenti di tipo fragile che si manifestano nei terreni a grana fine sovraconsolidati e nei terreni a grana grossa addensati con una riduzione della resistenza al taglio al crescere delle deformazioni. Inoltre si deve tener conto dei possibili incrementi di pressione interstiziale indotti in condizioni sismiche nei terreni saturi. Nei metodi pseudostatici l’azione sismica è rappresentata da un’azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile.

Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come  $F_h = k_h \times W$  ed  $F_v = k_v \times W$ , con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$
$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito.

Per tenere conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale è necessario individuare il valore del coefficiente topografico  $S_T$ , dipendente dalle categorie topografiche illustrate nella seguente tabella:

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

*Tabella 4 - Categorie topografiche - Tabella 3.2.III D.M. 17/01/2018*

Il caso in studio appartiene alla categoria topografica T1, alla quale corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  pari a 1.0 (tabella 3.2.V D.M. 17/01/2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario inoltre valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento illustrate nella seguente tabella:

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

*Tabella 5 - Categorie di sottosuolo da Tabella 3.2.II D.M. 17/01/2018*

Non avendo effettuato indagini specifiche in sito, nel caso in progetto si assume che la categoria di sottosuolo sia la D, alla quale corrisponde il valore massimo del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  pari a 1.8.

<b>Categoria sottosuolo</b>	<b>S<sub>s</sub></b>
<b>A</b>	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80 \cdot$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

*Tabella 6 - Espressioni di S<sub>s</sub> Tabella 3.2.IV D.M. 17/01/2018*

La seguente tabella riepiloga i coefficienti sismici calcolati:

<b>a<sub>g</sub> SLV</b>	<b>0.526</b>
<b>S<sub>t</sub> coefficiente di amplificazione topografica</b>	<b>1.00</b>
<b>S<sub>s</sub> coefficiente di amplificazione stratigrafica</b>	<b>1.80</b>

*Tabella 7 – Parametri per la definizione dell'azione sismica*

## 4.1. Analisi delle condizioni di stabilità dei muri di sostegno

L'analisi delle condizioni di stabilità dei muri di sostegno, a meno di specifiche analisi dinamiche, in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici e metodi degli spostamenti. Se la struttura può spostarsi, l'analisi pseudo-statica si esegue mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il volume di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo, e gli eventuali sovraccarichi agenti sul volume suddetto. Nell'analisi pseudo-statica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$
$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

$\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Il valore del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  e il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  sono uguali a quelli appena riportati per l'analisi di stabilità dei pendii.

Si valuta infine il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_m$ , che risulta quantificato come segue:

$\beta_m=0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m=0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando coefficienti parziali unitari sulle azioni e sui parametri geotecnici (7.11.1 del D.M. 17/01/2018) e utilizzando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% rispetto a quelli innanzi indicati e comunque non superiori all'unità.

Nel caso in questione i valori di  $\beta_m$  sono stati calcolati mediante l'utilizzo del software MAX 16 durante il calcolo delle verifiche di stabilità dei muri.

- Muro A

Calcolo Bm secondo Circolare 21/01/2019 n° 7 C.S.LL.PP. (par C7.11.6.2)				
AgCrit = 0,613 [m/s^2]		Amax = 0,946 [m/s^2]		$\beta_{m,critico} = 0,647$
	Verifica SLV	Bm	Kh [%]	Kv [%]
◆	Scorrimento	0,380	3,666	1,833
	Carico limite, stabilità globale e verifiche strutturali	0,647	6,245	3,122
	Ribaltamento	0,971	9,367	4,683

Tabella 8 – Calcolo di  $\beta_m$  secondo Circolare 21/01/2019 n. 7

- Muro B

Calcolo Bm secondo Circolare 21/01/2019 n° 7 C.S.LL.PP. (par C7.11.6.2)				
AgCrit = 1,284 [m/s^2]		Amax = 0,946 [m/s^2]		$\beta_{m,critico} = 1,357$
	Verifica SLV	Bm	Kh [%]	Kv [%]
◆	Scorrimento	0,380	3,666	1,833
	Carico limite, stabilità globale e verifiche strutturali	1,000	9,648	4,824
	Ribaltamento	1,000	9,648	4,824

Tabella 9 – Calcolo di  $\beta_m$  secondo Circolare 21/01/2019 n. 7

## 5. CARATTERISTICHE E RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI UTILIZZATI

### 5.1. Calcestruzzo

#### 5.1.1. Classe di esposizione ambientale

Le diverse superfici di calcestruzzo di un dato componente strutturale possono essere soggette a diverse azioni ambientali, classificate dalla norma UNI – EN 206:2016 come classi di esposizione. Le classi di esposizione da scegliere dipendono dalle disposizioni valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo, e tale classificazione non esclude considerazioni in merito a condizioni speciali che possano esistere nel luogo di impiego del calcestruzzo o di misure protettive come l'uso di acciaio inossidabile o altri metalli resistenti alla corrosione e l'uso di rivestimenti protettivi per il calcestruzzo o per l'armatura. Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, al paragrafo 4.1.2.2.4.2, stabiliscono che le condizioni ambientali possano essere suddivise, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, in condizioni ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella seguente tabella. La suddivisione fa riferimento alle classi di esposizione definite nelle Linee Guida per il calcestruzzo strutturale emesse dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tabella 10 - Descrizione delle condizioni ambientali - TAB 4.1.III D.M. 17/01/2018



La seguente tabella mostra le diverse classi di esposizione ambientale nella quale si evidenzia la classe di esposizione per le opere di fondazione della struttura in progetto:

#### Classi di esposizione

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
<b>1 Assenza di rischio di corrosione o attacco</b>		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa

<b>2 Corrosione indotta da carbonatazione</b>		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente: Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2
<b>3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare</b>		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue: Nota In riferimento alle condizioni di umidità vedere anche sezione 2 del presente prospetto.		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi
<b>4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare</b>		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con cloruri presenti nell'acqua di mare oppure con aria che trasporta sali derivanti dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue:		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea	Parti di strutture marine

<b>5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti</b>		
Qualora il calcestruzzo bagnato sia esposto ad un attacco significativo dovuto a cicli di gelo/disgelo, l'esposizione sarà classificata come segue:		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo
<b>6 Attacco chimico</b>		
Qualora il calcestruzzo sia esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno avente caratteristiche definite nel prospetto 2, l'esposizione verrà classificata come è indicato di seguito. La classificazione dell'acqua di mare dipende dalla località geografica; perciò si dovrà applicare la classificazione valida nel luogo di impiego del calcestruzzo.		
<p>Nota Può essere necessario uno studio speciale per stabilire le condizioni di esposizione da applicare quando si è:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- al di fuori dei limiti del prospetto 2;</li> <li>- in presenza di altri aggressivi chimici;</li> <li>- in presenza di terreni o acque inquinati da sostanze chimiche;</li> <li>- in presenza della combinazione di elevata velocità dell'acqua e delle sostanze chimiche del prospetto 2.</li> </ul>		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2	
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2	
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2	

Tabella 11 - Classe di esposizione ambientale

### 5.1.2. Classe di consistenza del calcestruzzo

La classe di consistenza è una proprietà del calcestruzzo allo stato fresco che influenza fortemente le proprietà del calcestruzzo indurito, e la si misura facilmente in cantiere con il cono di Abrams. La classe di consistenza è da considerarsi come un indice della lavorabilità del calcestruzzo, cioè la caratteristica che consente di confezionare, trasportare, gettare e compattare il materiale con una certa facilità. Si riporta nella seguente tabella i valori delle classi di abbassamento in funzione del relativo abbassamento

al cono di Abrams. Il calcestruzzo scelto per la realizzazione delle opere di fondazione ha una classe di consistenza S4.

**Classi di abbassamento al cono (slump)**

Classe	Abbassamento al cono
S1	da 10 a 40
S2	da 50 a 90
S3	da 100 a 150
<b>S4</b>	<b>da 160 a 210</b>
S5 <sup>1)</sup>	≥220

*Tabella 12 Classi di abbassamento al cono (slump)*

### 5.1.3. Classe di consistenza del calcestruzzo

I cloruri presenti nella massa cementizia sono una delle cause più importanti del degrado delle armature d'acciaio. Questi possono penetrare dall'esterno, se presenti in massicce quantità sulla superficie dell'elemento strutturale in calcestruzzo armato, ma possono essere veicolati anche dalle materie componenti il calcestruzzo. Ad esempio alcuni additivi acceleranti possono contenere una certa quantità di cloruri.

Il contenuto di cloruri nel calcestruzzo non deve eccedere il valore indicato della classe selezionata del prospetto seguente (par. 5.2.8 UNI EN 206:2016):

**Contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo**

Impiego del calcestruzzo	Classe di contenuto in cloruri <sup>a)</sup>	Massimo contenuto di Cl <sup>-</sup> rispetto alla massa del cemento <sup>b)</sup>
In assenza di armatura di acciaio o di altri inserti metallici (ad eccezione dei dispositivi di sollevamento resistenti alla corrosione)	Cl 1,0	1,0%
<b>In presenza di armatura d'acciaio o di altri inserti metallici</b>	<b>Cl 0,20</b>	<b>0,20%</b>
	Cl 0,40	0,40%
In presenza di armatura d'acciaio da precompressione	Cl 0,10	0,10%
	Cl 0,20	0,20%
a) La classe da applicare per uno specifico utilizzo del calcestruzzo dipende da disposizioni valide nel luogo d'impiego del calcestruzzo.		
b) Qualora siano impiegate aggiunte di tipo II e siano considerate nel computo del dosaggio di cemento, il contenuto in cloruri viene espresso come percentuale di ioni cloruro in massa rispetto al cemento + la massa totale delle aggiunte considerate.		

*Tabella 13 Contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo*

### 5.1.4. Determinazione del copriferro

Le Norme tecniche per le Costruzioni 2018 al paragrafo 4.1.6.1.3 prescrivono che "al fine della protezione delle armature dalla corrosione, lo strato di ricoprimento del calcestruzzo (copriferro) deve essere dimensionato in funzione dell'aggressività dell'ambiente e della sensibilità delle armature alla corrosione, tenendo anche conto delle tolleranze di posa delle armature".

A tal fine si può fare riferimento alla UNI EN 1992-1-1 per dimensionare correttamente i copriferri.

Il valore nominale del copriferro è calcolato secondo l'espressione:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

dove:

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm\}$$

in cui:

$$\Delta c_{dur,\gamma} = \Delta c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

$c_{min,b}$  è il copriferro minimo necessario per l'aderenza delle armature. Per armature ordinarie  $c_{min,b}$  è pari al diametro della barra, nel caso di barre singole, e al diametro equivalente, nel caso di barre raggruppate.

$c_{min,dur}$  è il copriferro minimo correlato alle condizioni ambientali e si ricava dai prospetti seguenti in funzione della classe di esposizione, ricordando che la classe strutturale per un periodo di vita nominale presunta della struttura pari a 50 anni è la classe strutturale S4 (vedi prospetti seguenti)

Per quanto riguarda la tolleranza  $\Delta c_{dev}$ , essa è compresa tra 0 e 10 mm.

A titolo cautelativo si è scelto un **copriferro minimo pari a 35 mm**.

prospetto 4.4N Valori del copriferro minimo,  $c_{min,dur}$ , requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da armatura ordinaria, in accordo alla EN 10080

Requisito ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

prospetto 4.5N Valori del copriferro minimo,  $c_{min,dur}$ , requisiti con riferimento alla durabilità per acciai da precompressione

Requisito ambientale per $c_{min,dur}$ (mm)							
Classe strutturale	Classe di esposizione secondo il prospetto 4.1						
	X0	XC1	XC2 / XC3	XC4	XD1 / XS1	XD2 / XS2	XD3 / XS3
S1	10	15	20	25	30	35	40
S2	10	15	25	30	35	40	45
S3	10	20	30	35	40	45	50
S4	10	25	35	40	45	50	55
S5	15	30	40	45	50	55	60
S6	20	35	45	50	55	60	65

Tabella 14 Valori del copriferro per la durabilità del calcestruzzo

## 5.2. Acciaio: sensibilità alla corrosione delle armature

Le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, al par. 4.1.2.2.4.3, suddividono in due gruppi le armature:

- Armature sensibili;
- Armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso, mentre appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari. Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili si può tenere conto della loro minor sensibilità alla corrosione.

La seguente tabella riepilogativa riassume le prescrizioni relative ai materiali utilizzati per il dimensionamento strutturale delle opere di fondazione con riferimento alle condizioni ambientali e alla sensibilità delle armature alla corrosione.

Calcestruzzo elementi di fondazione		
Classe di esposizione ambientale		<b>XC2</b>
Condizione ambientale	TAB. 4.1.III D.M. 17/01/2018	<b>ORDINARIA</b>
Classe di consistenza cls		<b>S4</b>
Massimo rapporto a/c		<b>0.60</b>
D <sub>max</sub> : dimensione nominale max aggregati		<b>20 mm</b>
Tipi di acciaio		
Acciai da precompressione presenti		<b>NO</b>
Acciai ordinari presenti		<b>SI</b>
Acciai zincati presenti		<b>NO</b>
Acciai inox presenti		<b>NO</b>

*Tabella 15 Materiali*

### 5.3. Scelta degli stati limite di fessurazione

Sono ora indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alla TAB. 4.1.IV delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w <sub>d</sub>	Stato limite	w <sub>d</sub>
<b>a</b>	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>3</sub>
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
<b>b</b>	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
<b>c</b>	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>

*Tabella 16 Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione*

Il paragrafo 4.1.2.2.4 delle NTC 2018 individua i seguenti valori di w<sub>1</sub> w<sub>2</sub> e w<sub>3</sub>:

w <sub>1</sub>	<b>0,2 mm</b>
w <sub>2</sub>	<b>0,3 mm</b>
w <sub>3</sub>	<b>0,4 mm</b>

*Tabella 17 Valori limite apertura delle fessure*

Per la verifica a fessurazione si è fatto riferimento ad una condizione ambientale di tipo ordinaria.



---

## 5.4. Durabilità

Particolare attenzione è stata posta per garantire la durabilità della struttura, con la consapevolezza che tutte le prestazioni attese potranno essere garantite solo mediante opportune procedure da seguire non solo in fase di progettazione, ma anche di costruzione, manutenzione e gestione dell'opera; si dovranno, inoltre, utilizzare tutti gli accorgimenti utili alla conservazione delle caratteristiche fisiche e dinamiche dei materiali e delle strutture.

## 5.5. Materiali utilizzati

### 5.5.1. Calcestruzzo C25/30

Tipo di calcestruzzo		<b>C25/30</b>
$R_{ck}$ calcestruzzo	(daN/cm <sup>2</sup> )	300
Modulo elastico	(daN/cm <sup>2</sup> )	31447000
Resistenza caratteristica cilindrica ( $f_{ck}$ )	(daN/cm <sup>2</sup> )	249.5
Resistenza caratteristica a trazione ( $f_{ctk}$ )	(daN/cm <sup>2</sup> )	17.91
Resistenza media ( $f_{cm}$ )	(daN/cm <sup>2</sup> )	329.00
Resistenza media a trazione ( $f_{ctm}$ )	(daN/cm <sup>2</sup> )	25.58
$\sigma_{amm}$ calcestruzzo	(daN/cm <sup>2</sup> )	97.50

*Tabella 18 Caratteristiche C25/30*

### 5.5.2. Acciaio B450C

Tipo di acciaio		<b>B450C</b>
$F_{yk}$ tensione caratteristica di snervamento	(daN/cm <sup>2</sup> )	4500
Modulo elastico	(daN/cm <sup>2</sup> )	2060000
$F_{tk}$	(daN/cm <sup>2</sup> )	5400
Coefficiente di Poisson $\nu$		0.3
$\gamma_s$		1.15
$f_{yd}$	(daN/cm <sup>2</sup> )	3910
$\sigma_{amm}$ calcestruzzo	(daN/cm <sup>2</sup> )	97.5

*Tabella 19 Caratteristiche B450C*

## 6. PARAMETRI GEOTECNICI E CONDIZIONI

### IDROGEOLOGICHE

#### 6.1. Parametri geotecnici

Con riferimento all' "Elab.4\_Relazione geotecnica", è possibile definire un profilo geotecnico di progetto a cui fare riferimento in sede progettuale.

E' presente un'unica unità litostratigrafica ascrivibile a riporti sabbiosi limosi.

I parametri medi di progetto per l'unità stratigrafica, estesa sino ad almeno 6,50 m di profondità, risultano compresi entro i seguenti campi di valori:

- peso di volume  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza al taglio di picco  $\phi'p = 34 \div 35^\circ$
- angolo di resistenza al taglio a volume costante  $\phi'cv = 30 \div 32^\circ$
- modulo di elasticità drenato  $E' = 6-8 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0,35$
- Indice CBR  $I = 8 \%$

Per il calcolo della palificata e del muro in c.a., a cui compete il sostegno di terreno rimaneggiato, sono stati assegnati i seguenti parametri geotecnici:

	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	$\Phi$	$c$
	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[Kg/m <sup>3</sup> ]	[°]	[kPa]
Terreno rimaneggiato	1750	1900	32.00	0.00

#### 6.2. Condizioni idrogeologiche

Il territorio interessato dalle opere in progetto, collocandosi in area collinare, con pendenze in alcuni casi ancora accentuate, e soprattutto per la tipologia dei depositi presenta una falda superficiale limitata ad areali di piccole dimensioni ed in porzioni relativamente pianeggianti.

I rilievi in sito ed i dati disponibili dalla letteratura non evidenziano problemi o dissesti particolari di natura geomorfologia che coinvolgano le aree interessate dalle opere in progetto.

## 7. AZIONI

In accordo con la normativa citata al capitolo 2 della seguente relazione, sono state considerate nei calcoli le seguenti azioni:

- Carichi permanenti strutturali;
- Carichi permanenti NON strutturali;
- Carichi variabili.

### 7.1. Carichi permanenti strutturali

I carichi permanenti strutturali sono dati dai pesi propri delle strutture e vengono calcolati automaticamente dal software di calcolo. Si considera la massa volumica del c.a. pari a  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

### 7.2. Carichi permanenti non strutturali

Sulle opere non insistono carichi permanenti non strutturali, se non la spinta attiva del terreno stesso di cui sono stati riportati i parametri geotecnici al capitolo 6.

### 7.3. Carichi variabili

Per il calcolo del muro B è stato considerato un carico variabile agente pari a  $2000 \text{ kg/m}^2$ , pari al carico stradale previsto dalle NTC 2018.

## 8. COMINAZIONI DI CARICO

Le combinazioni di carico utilizzate sono quelle previste dalle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018. Si elencano in seguito i coefficienti parziali di sicurezza con riferimento alla tabella 2.6.1. delle NTC 2018, e le relative combinazioni delle azioni:

Carichi	Effetto		UPL	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
				EQU	A1	A2	EQU	A1	A2
Permanenti strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G1,fav}$	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	Sfavorevoli	$\gamma_{G1,sfav}$	1.10	1.30	1.30	1.00	1.00	1.00	1.00
Permanenti non strutturali	Favorevoli	$\gamma_{G2,fav}$	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevoli	$\gamma_{G2,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili	Favorevoli	$\gamma_{Q,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevoli	$\gamma_{Q,sfav}$	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00	1.00	1.00
Variabili da traffico	Favorevoli	$\gamma_{QT,fav}$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Sfavorevoli	$\gamma_{QT,sfav}$	1.50	1.35	1.35	1.15	1.00	1.00	1.00

Tabella 20 - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche a SLU

Ai fini delle verifiche agli stati limite, con riferimento al par. 2.5.3 si sono definite le seguenti combinazioni delle azioni:

- SLU – Combinazione di carico fondamentale;

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\gamma_{Qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

- SLE – Combinazione caratteristica, cosiddetta rara;

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{0i} \cdot Q_{ki})$$

- SLE – Combinazione frequente;

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

- SLE – Combinazione quasi permanente;

$$G_1 + G_2 + P + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

- Combinazione sismica;

$$E + G_1 + G_2 + P + \sum_{i=1}^n (\psi_{2i} \cdot Q_{ki})$$

## N.T.C. 2018

Simbologia adottata

$\gamma_{Gs fav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{G fav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qs fav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Q fav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan \phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_{\gamma}$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro		Combinazioni statiche		Combinazioni sismiche	
		M1	M2	M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan(\phi)}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25	1.00	1.00
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40	1.00	1.00
Peso nell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00	1.00	1.00

### Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO

Verifica	Combinazioni statiche			Combinazioni sismiche		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Capacità portante	--	--	1.40	--	--	1.20
Scorrimento	--	--	1.10	--	--	1.00
Resistenza terreno a valle	--	--	1.40	--	--	1.20
Ribaltamento	--	--	1.15	--	--	1.00
Stabilità fronte di scavo	--	1.10	--	--	1.20	--

## 8.1. Muro A

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

### Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

### Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole



---

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 15 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 16 - SLEQ\_H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 17 - SLEQ\_H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

## 8.2. Muro B

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni:

Simbologia adottata

$\gamma$  Coefficiente di partecipazione della condizione

$\Psi$  Coefficiente di combinazione della condizione

Combinazione n° 1 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 2 - STR (A1-M1-R3)\_H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 3 - STR (A1-M1-R3)\_H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole

---

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

#### Combinazione n° 4 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

#### Combinazione n° 5 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.30	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

#### Combinazione n° 6 - STR (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.30	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

#### Combinazione n° 7 - GEO (A2-M2-R2)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.15	1.00	Sfavorevole

#### Combinazione n° 8 - GEO (A2-M2-R2) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

---

Combinazione n° 9 - GEO (A2-M2-R2) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 10 - EQU (A1-M1-R3)

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.30	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.35	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 11 - EQU (A1-M1-R3) H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 12 - EQU (A1-M1-R3) H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Favorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Favorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

Combinazione n° 13 - SLER

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	1.00	Sfavorevole

Combinazione n° 14 - SLEF

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole
Condizione 1	1.00	0.75	Sfavorevole

---

#### Combinazione n° 15 - SLEQ

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

#### Combinazione n° 16 - SLEQ H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

#### Combinazione n° 17 - SLEQ H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

#### Combinazione n° 18 - A1-M1-R3 SCOR H + V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole

#### Combinazione n° 19 - A1-M1-R3 SCOR H - V

Condizione	$\gamma$	$\Psi$	Effetto
Peso muro	1.00	--	Sfavorevole
Peso terrapieno	1.00	--	Sfavorevole
Spinta terreno	1.00	--	Sfavorevole





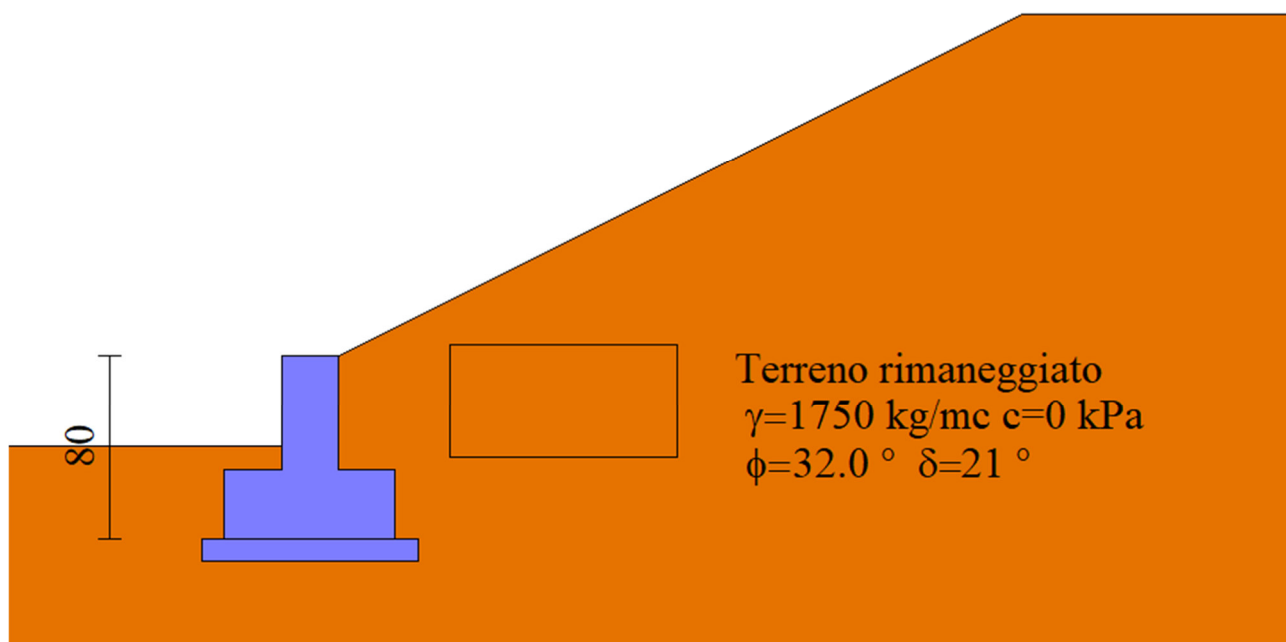


Figura 9 Configurazione geometrica, geotecnica e di carico in cui si inserisce l'intervento

### 9.1.2. Sollecitazioni agenti

Si riportano di seguito due immagini estratte dal software di calcolo rappresentative dell'involuppo delle sollecitazioni agenti sul paramento e la fondazione del muro e delle pressioni agenti sul terreno.

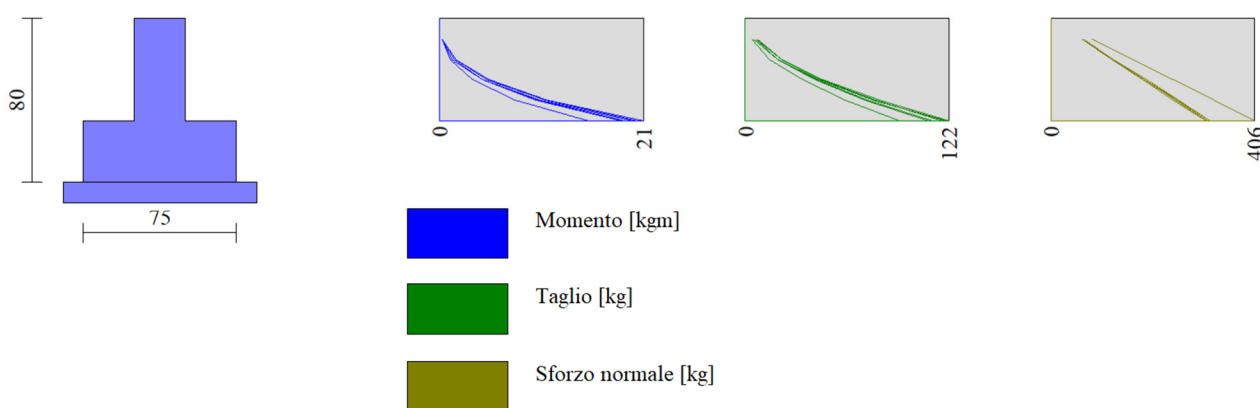


Figura 10 Involuppo sollecitazioni agenti sul paramento

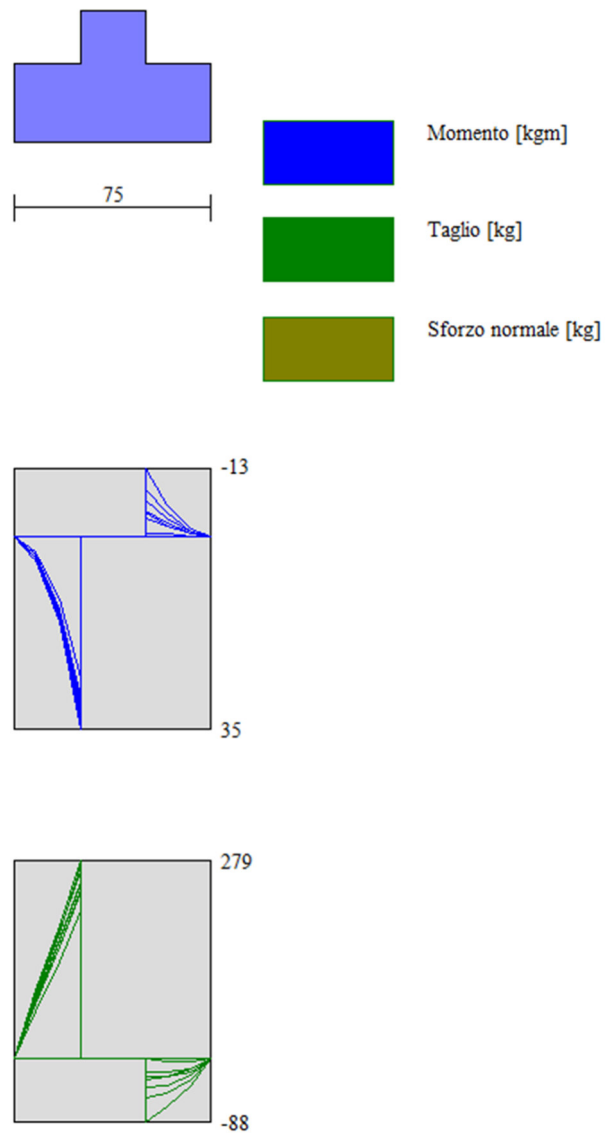


Figura 11 Involuppo delle sollecitazioni di Taglio [kg] e Momento [kgm] agenti sulle mensole di fondazione del muro e delle Pressioni sul terreno (kg/cm<sup>2</sup>)

### 9.1.3. Risultati delle verifiche geotecniche

Nella tabella seguente si riportano i minimi coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche tenendo conto di tutte le combinazioni risultanti dal calcolo.

Tipo di verifica	Fattori di sicurezza minimi
Verifica al ribaltamento	2.97 (12)
Verifica allo scorrimento	1.19 (19)
Verifica al carico limite	6.59 (2)
Verifica alla stabilità globale	2.04 (7)

Tabella 21 - Risultati delle verifiche geotecniche

I valori minimi dei fattori di sicurezza risultano maggiori di quelli consigliati da normativa per muri di sostegno (NTC 2018).

Il fattore di sicurezza per la verifica di stabilità globale fa riferimento alla sola opera descritta nel presente sotto-paragrafo.

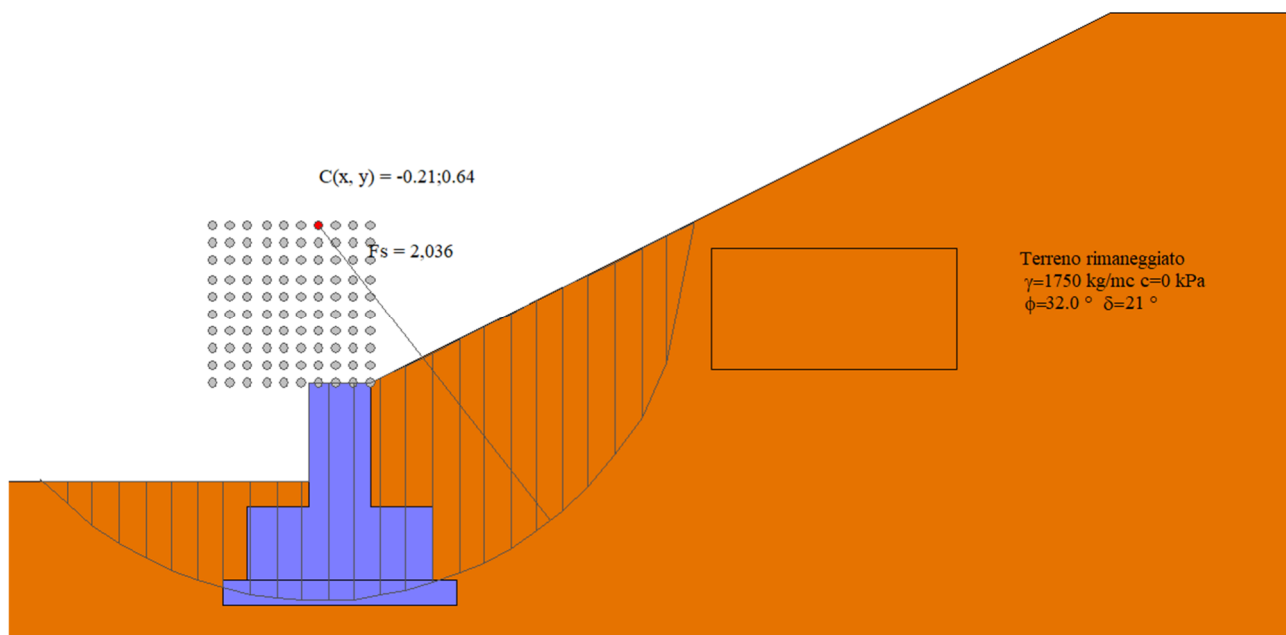


Figura 12 – Verifica alla stabilità globale  $F_s=$

Le verifiche geotecniche a ribaltamento, scorrimento, capacità portante e stabilità globale risultano soddisfatte, per cui l'opera in progetto risulta **STABILE**.

### 9.1.4. Risultati delle verifiche strutturali

Si riporta di seguito lo schema d'armatura verificato:

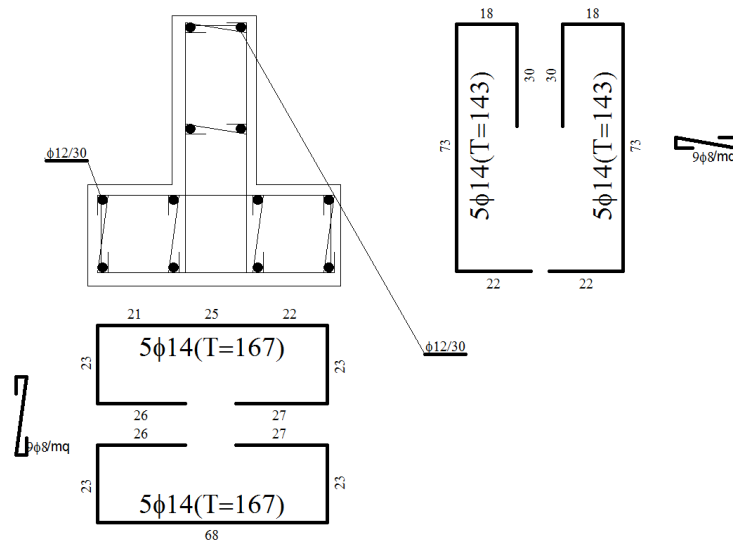


Figura 13 Estratto software di calcolo – schema armature verificato

## Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

n° indice sezione

B larghezza sezione espresso in [cm]

H altezza sezione espressa in [cm]

Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]

Afs area ferri superiori espressa in [cmq]

M momento agente espressa in [kgm]

N sforzo normale agente espressa in [kg]

Mu momento ultimi espresso in [kgm]

Nu sforzo normale ultimo espressa in [kg]

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]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
1	100	25	15,39	15,39	0	0	0	0	100000.000
2	100	25	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000
3	100	25	7,70	7,70	1	162	2815	349174	2148.763
4	100	25	7,70	7,70	4	244	6298	349174	1432.508
5	100	25	7,70	7,70	10	325	9733	304794	937.828
6	100	25	7,70	7,70	20	406	12611	253361	623.658

## Fondazione

n°	B	H	A <sub>f</sub>	A <sub>f</sub>	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000
2	100	30	7,70	7,70	4	0	7503	0	1914.039
3	100	30	7,70	7,70	16	0	7503	0	480.003
4	100	30	7,70	7,70	35	0	7503	0	214.002
5	100	30	7,70	7,70	-13	0	-7503	0	594.430
6	100	30	7,70	7,70	-6	0	-7503	0	1230.507
7	100	30	7,70	7,70	-2	0	-7503	0	4557.552
8	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000

## Verifiche a taglio

Simbologia adottata

n° (o Is) indice sezione

Y ordinata sezione espressa in [m]

B larghezza sezione espresso in [cm]

H altezza sezione espressa in [cm]

A<sub>sw</sub> area ferri a taglio espresso in [cmq]

cotθ inclinazione delle bielle compresse, θ inclinazione dei puntoni di calcestruzzo

V<sub>Rcd</sub> resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]

V<sub>Rsd</sub> resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]

V<sub>Rd</sub> resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio (A<sub>sw</sub>>0.0) V<sub>Rd</sub>=min(V<sub>Rcd</sub>, V<sub>Rsd</sub>).

T taglio agente espressa in [kg]

FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

## Paramento

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	100	25	0,00	--	0	0	16965	0	100.000
2	100	25	0,00	--	0	0	13473	7	1984.728
3	100	25	0,00	--	0	0	13481	22	599.497
4	100	25	0,00	--	0	0	13489	47	287.545
5	100	25	0,00	--	0	0	13497	80	168.372
6	100	25	0,00	--	0	0	13505	122	110.463

## Fondazione

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
1	100	30	0,00	--	0	0	14749	0	100.000
2	100	30	0,00	--	0	0	14749	-94	157.014
3	100	30	0,00	--	0	0	14749	-187	78.876
4	100	30	0,00	--	0	0	14749	-279	52.832
5	100	30	0,00	--	0	0	14749	-88	167.960
6	100	30	0,00	--	0	0	14749	-67	219.091
7	100	30	0,00	--	0	0	14749	-38	387.640
8	100	30	0,00	--	0	0	14749	0	100.000

### Verifica delle tensioni

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
Afi	area ferri inferiori, espresso in [cmq]
Afs	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kg]
$\sigma_c$	tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
$\sigma_{fi}$	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
$\sigma_{fs}$	tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

### Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	25	15,39	15,39	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)
2	100	25	7,70	7,70	0	62	2 (13)	33 (13)	35 (13)
3	100	25	7,70	7,70	1	125	5 (13)	59 (13)	75 (13)
4	100	25	7,70	7,70	3	188	10 (13)	74 (13)	128 (13)
5	100	25	7,70	7,70	8	250	16 (13)	71 (13)	198 (13)
6	100	25	7,70	7,70	16	313	25 (13)	41 (13)	293 (13)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)
2	100	30	7,70	7,70	3	0	3 (13)	154 (13)	13 (13)
3	100	30	7,70	7,70	11	0	14 (13)	624 (13)	54 (13)
4	100	30	7,70	7,70	26	0	32 (13)	1419 (13)	122 (13)
5	100	30	7,70	7,70	-1	0	1 (13)	0 (1)	33 (13)
6	100	30	7,70	7,70	0	0	1 (13)	0 (1)	27 (13)
7	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (1)	10 (13)
8	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)



---

## Combinazioni SLEF

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24900 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	25	15,39	15,39	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)
2	100	25	7,70	7,70	0	62	2 (14)	33 (14)	35 (14)
3	100	25	7,70	7,70	1	125	5 (14)	59 (14)	75 (14)
4	100	25	7,70	7,70	3	188	10 (14)	74 (14)	128 (14)
5	100	25	7,70	7,70	8	250	16 (14)	71 (14)	198 (14)
6	100	25	7,70	7,70	16	313	25 (14)	41 (14)	293 (14)

### Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24900 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)
2	100	30	7,70	7,70	3	0	3 (14)	154 (14)	13 (14)
3	100	30	7,70	7,70	11	0	14 (14)	624 (14)	54 (14)
4	100	30	7,70	7,70	26	0	32 (14)	1419 (14)	122 (14)
5	100	30	7,70	7,70	-1	0	1 (14)	0 (1)	33 (14)
6	100	30	7,70	7,70	0	0	1 (14)	0 (1)	27 (14)
7	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (1)	0 (1)	10 (14)
8	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)

## Combinazioni SLEQ

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11205 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	25	15,39	15,39	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)
2	100	25	7,70	7,70	0	63	2 (16)	33 (15)	36 (16)
3	100	25	7,70	7,70	1	127	6 (16)	59 (15)	80 (16)
4	100	25	7,70	7,70	5	190	11 (16)	74 (15)	138 (16)
5	100	25	7,70	7,70	10	253	18 (16)	71 (15)	218 (16)
6	100	25	7,70	7,70	19	316	29 (16)	41 (15)	332 (16)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11205 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)
2	100	30	7,70	7,70	3	0	4 (16)	192 (16)	16 (16)
3	100	30	7,70	7,70	14	0	17 (16)	764 (16)	66 (16)
4	100	30	7,70	7,70	31	0	38 (16)	1713 (16)	147 (16)
5	100	30	7,70	7,70	-5	0	6 (17)	23 (17)	266 (17)
6	100	30	7,70	7,70	-3	0	3 (17)	12 (17)	140 (17)
7	100	30	7,70	7,70	-1	0	1 (17)	0 (1)	40 (17)
8	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)

### Verifica a fessurazione

Simbologia adottata

n° indice sezione

Y ordinata sezione espressa in [m]

B larghezza sezione espresso in [cm]

H altezza sezione espressa in [cm]

Af area ferri zona tesa espresso in [cmq]

Aeff area efficace espressa in [cmq]

M momento agente espressa in [kgm]

Mpf momento di formazione/apertura fessure espressa in [kgm]

$\varepsilon$  deformazione espresso in %

Sm spaziatura tra le fessure espressa in [mm]

w apertura delle fessure espressa in [mm]

### Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\varepsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	25	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)
2	100	25	7,70	645,38	0	3615	0,000000	0,00	0,000 (14)
3	100	25	7,70	645,16	1	3618	0,000000	0,00	0,000 (14)
4	100	25	7,70	644,93	3	3620	0,000000	0,00	0,000 (14)
5	100	25	7,70	644,71	8	3623	0,000000	0,00	0,000 (14)
6	100	25	7,70	644,48	16	3626	0,000000	0,00	0,000 (14)

---

Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)
2	100	30	7,70	789,06	3	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
3	100	30	7,70	789,06	11	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
4	100	30	7,70	789,06	26	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
5	100	30	7,70	789,06	-1	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
6	100	30	7,70	789,06	0	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
7	100	30	7,70	789,06	0	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
8	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)

Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	25	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)
2	100	25	7,70	645,38	0	3615	0,000000	0,00	0,000 (15)
3	100	25	7,70	645,16	1	3618	0,000000	0,00	0,000 (15)
4	100	25	7,70	644,93	3	3620	0,000000	0,00	0,000 (15)
5	100	25	7,70	644,71	8	3623	0,000000	0,00	0,000 (15)
6	100	25	7,70	644,48	16	3626	0,000000	0,00	0,000 (15)

Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)
2	100	30	7,70	789,06	3	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
3	100	30	7,70	789,06	11	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
4	100	30	7,70	789,06	26	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
5	100	30	7,70	789,06	-1	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
6	100	30	7,70	789,06	0	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
7	100	30	7,70	789,06	0	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
8	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)

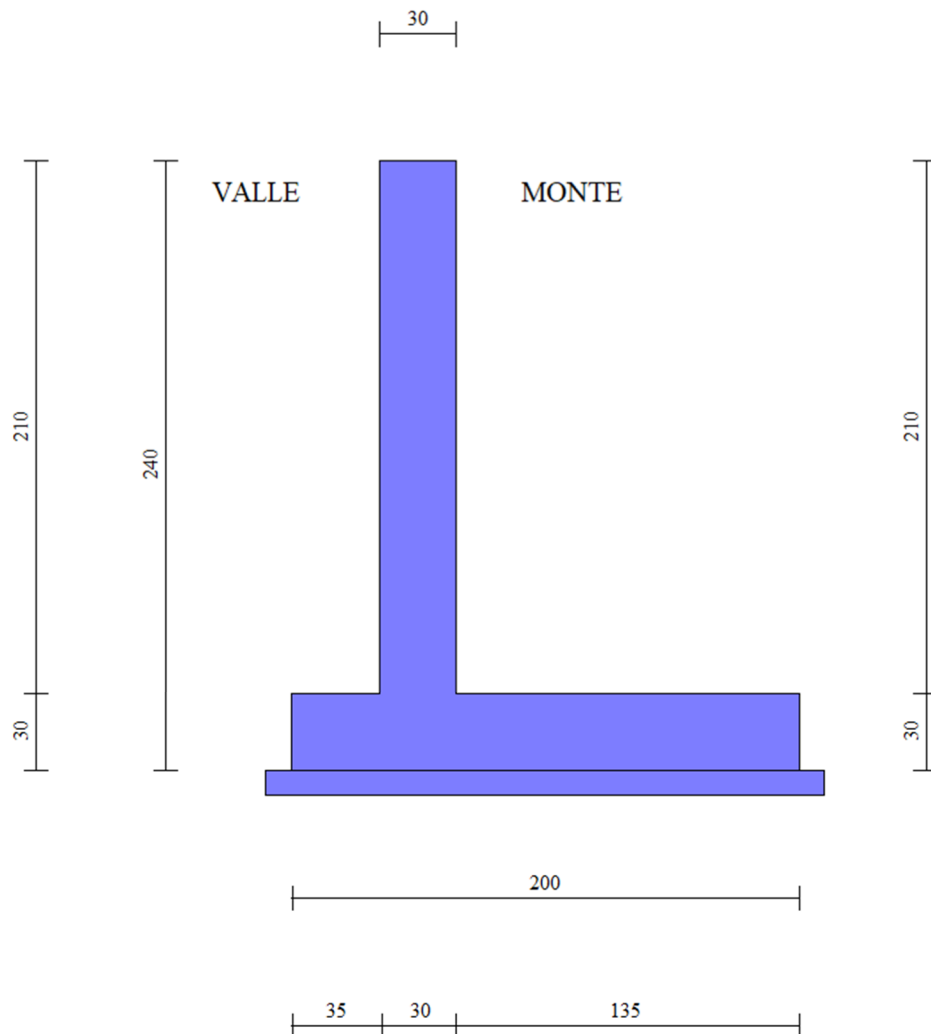
Come previsto, data la geometria ridotta dell'opera e l'assenza di carichi esterni, le **VERIFICHE STRUTTURALI SONO AMPIAMENTE SODDISFATTE**, sia allo SLU che agli SLE.

## **9.2. Muro B: in c.a.**

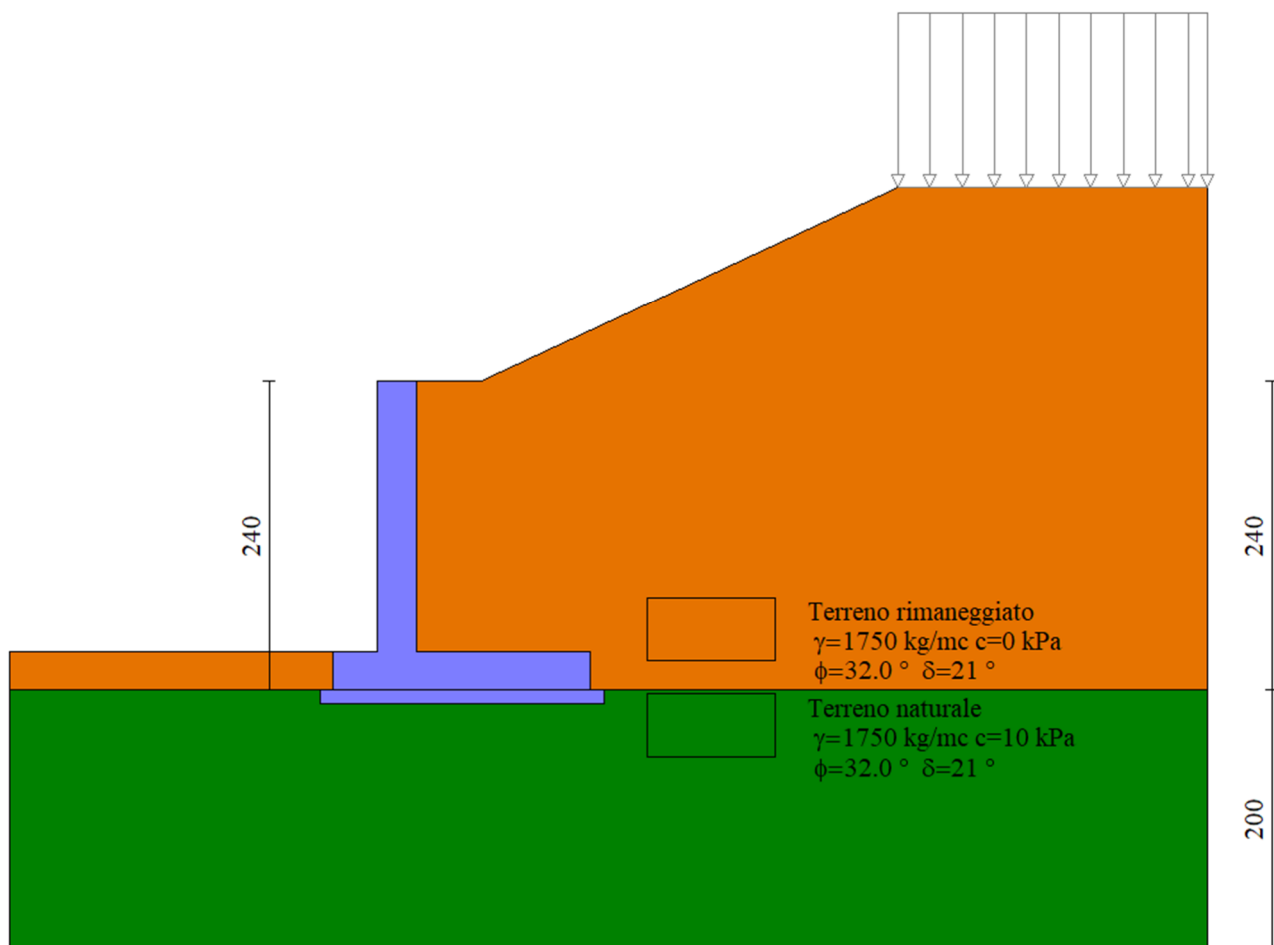
Si riportano adesso i risultati delle verifiche geotecniche e strutturali

### **9.2.1. Geometria e modello di calcolo**

L'immagine seguenti, estratte dal software di calcolo, forniscono un'indicazione sulla geometria dell'opera e sulla condizione geotecnica e di carico in cui si inserisce, per come è stata calcolata.



*Figura 14 Geometria in sezione del muro*



*Figura 15 Configurazione geometrica, geotecnica e di carico in cui si inserisce l'intervento*

### 9.2.2. Sollecitazioni agenti

Si riportano di seguito due immagini estratte dal software di calcolo rappresentative dell'involuppo delle sollecitazioni agenti sul paramento e la fondazione del muro e delle pressioni agenti sul terreno.

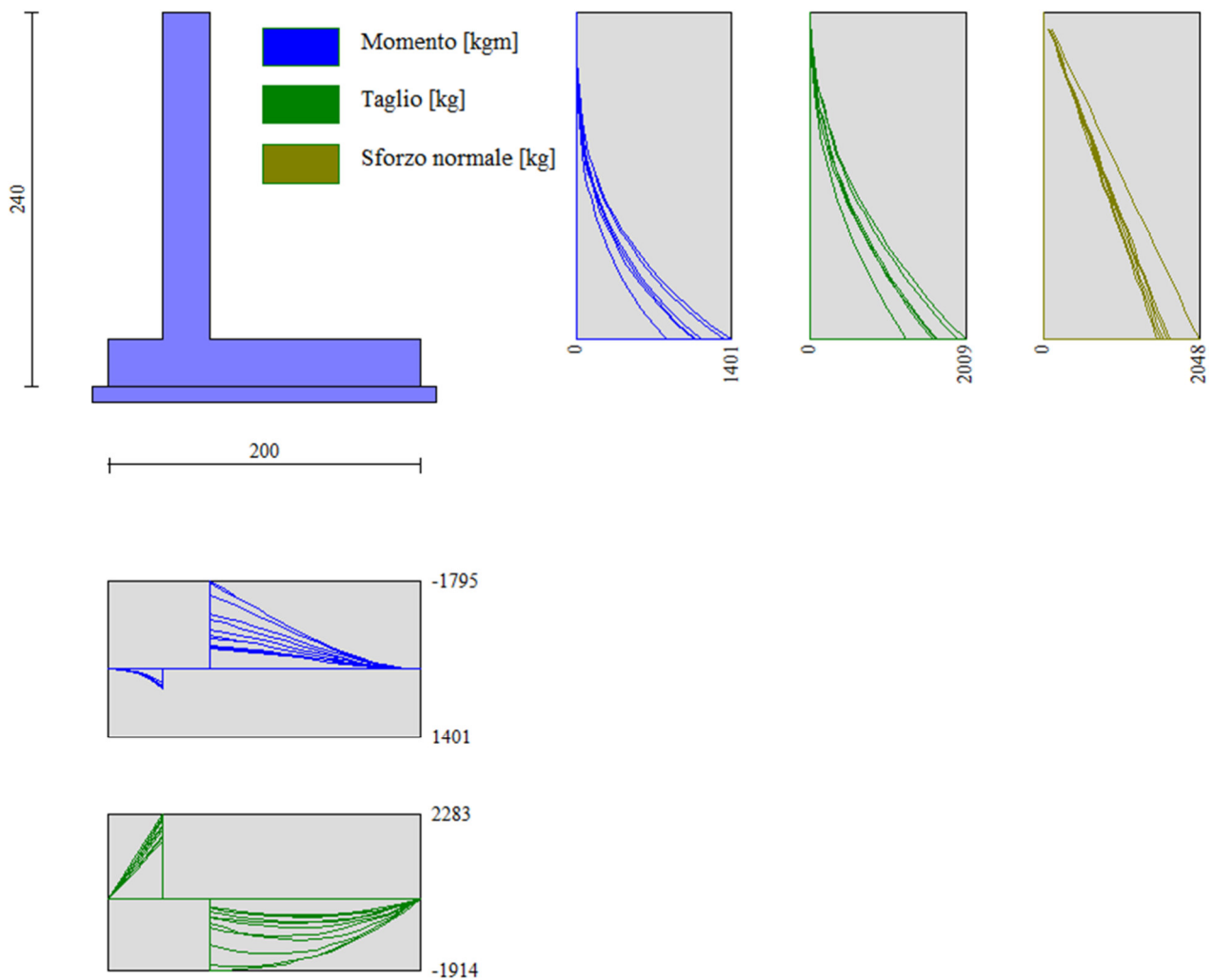


Figura 16 Involuppo sollecitazioni agenti sul paramento e fondazione



### 9.2.3. Risultati delle verifiche geotecniche

Nella tabella seguente si riportano i minimi coefficienti di sicurezza delle verifiche geotecniche tenendo conto di tutte le combinazioni risultanti dal calcolo.

Tipo di verifica	Fattori di sicurezza minimi
Verifica al ribaltamento	2.66 (12)
Verifica allo scorrimento	1.21(1)
Verifica al carico limite	4.36 (2)
Verifica alla stabilità globale	1.37 (7)

Tabella 22 - Risultati delle verifiche geotecniche

I valori minimi dei fattori di sicurezza risultano maggiori di quelli consigliati da normativa per muri di sostegno (NTC 2018).

Il fattore di sicurezza per la verifica di stabilità globale fa riferimento alla sola opera descritta nel presente sotto-paragrafo.

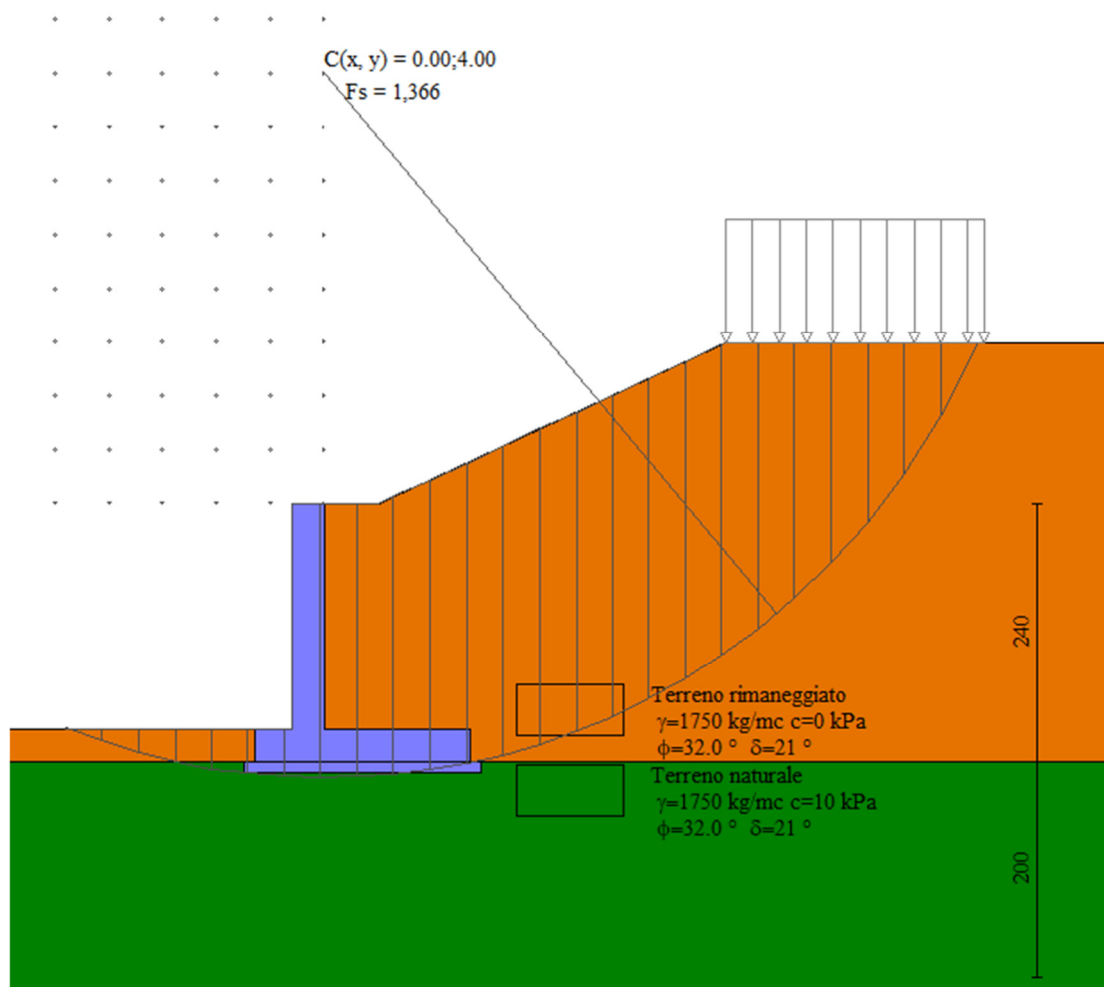


Figura 17 - Verifica alla stabilità globale  $F_s=1.366$

Le verifiche geotecniche a ribaltamento, scorrimento, capacità portante e stabilità globale risultano soddisfatte, per cui l'opera in progetto risulta **STABILE**.

#### 9.2.4. Risultati delle verifiche strutturali

Si riporta di seguito lo schema d'armatura verificato:

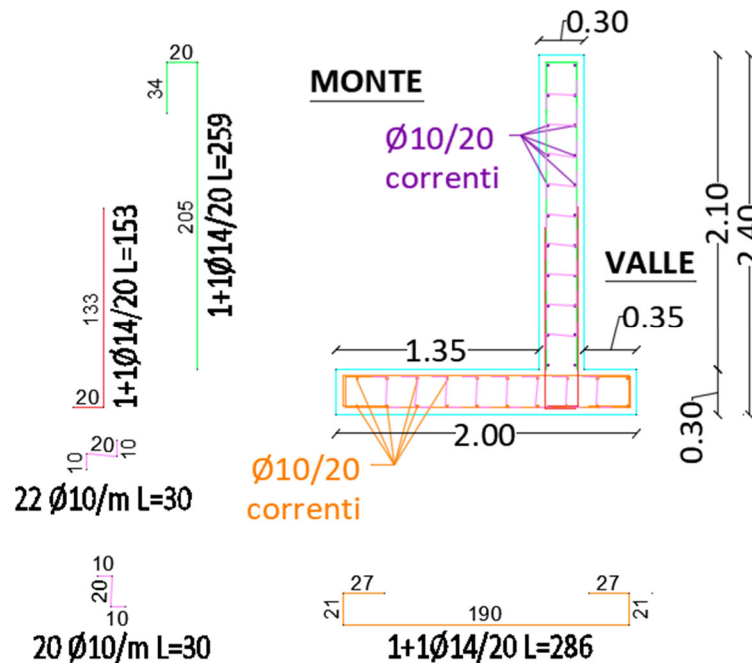


Figura 18 Estratto software di calcolo – schema armature verificato

#### Verifiche a flessione

Elementi calcolati a trave

Simbologia adottata

- n° indice sezione  
B larghezza sezione espresso in [cm]  
H altezza sezione espressa in [cm]  
Afi area ferri inferiori espresso in [cmq]  
Afs area ferri superiori espressa in [cmq]  
M momento agente espressa in [kgm]  
N sforzo normale agente espressa in [kg]  
Mu momento ultimi espresso in [kgm]  
Nu sforzo normale ultimo espressa in [kg]  
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]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000
2	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000
3	100	30	7,70	7,70	2	157	6264	406734	2586.783
4	100	30	7,70	7,70	3	293	3690	406734	1390.545

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
5	100	30	7,70	7,70	6	390	6544	406734	1042.909
6	100	30	7,70	7,70	24	393	18162	294861	750.112
7	100	30	7,70	7,70	39	472	20367	245036	519.466
8	100	30	7,70	7,70	59	550	21685	201221	365.641
9	100	30	7,70	7,70	85	629	20923	154235	245.230
10	100	30	7,70	7,70	118	708	18395	110186	155.727
11	100	30	7,70	7,70	159	786	15633	77454	98.520
12	100	30	7,70	7,70	208	865	13714	57025	65.941
13	100	30	7,70	7,70	267	943	12299	43450	46.056
14	100	30	7,70	7,70	337	1022	11284	34234	33.496
15	100	30	7,70	7,70	418	1101	10577	27822	25.278
16	100	30	7,70	7,70	513	1179	10062	23141	19.623
17	100	30	7,70	7,70	621	1258	9671	19597	15.580
18	100	30	7,70	7,70	743	1337	9367	16839	12.600
19	100	30	7,70	7,70	882	1415	9126	14644	10.348
20	100	30	7,70	7,70	1037	1494	8929	12864	8.612
21	100	30	7,70	7,70	1210	1572	8768	11398	7.249
22	100	30	7,70	7,70	1401	1651	8633	10175	6.163

## Fondazione

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	Mu	Nu	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kgm]	[kg]	
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000
2	100	30	7,70	7,70	26	0	7504	0	283.380
3	100	30	7,70	7,70	105	0	7504	0	71.663
4	100	30	7,70	7,70	233	0	7504	0	32.222
5	100	30	7,70	7,70	409	0	7504	0	18.339
6	100	30	7,70	7,70	-1795	0	-7504	0	4.180
7	100	30	7,70	7,70	-1611	0	-7504	0	4.658
8	100	30	7,70	7,70	-1428	0	-7504	0	5.256
9	100	30	7,70	7,70	-1247	0	-7504	0	6.016
10	100	30	7,70	7,70	-1073	0	-7504	0	6.992
11	100	30	7,70	7,70	-907	0	-7504	0	8.273
12	100	30	7,70	7,70	-747	0	-7504	0	10.050
13	100	30	7,70	7,70	-595	0	-7504	0	12.619
14	100	30	7,70	7,70	-454	0	-7504	0	16.538
15	100	30	7,70	7,70	-327	0	-7504	0	22.960
16	100	30	7,70	7,70	-217	0	-7504	0	34.634
17	100	30	7,70	7,70	-126	0	-7504	0	59.512
18	100	30	7,70	7,70	-58	0	-7504	0	129.569
19	100	30	7,70	7,70	-15	0	-7504	0	502.026
20	100	30	7,70	7,70	0	0	0	0	100000.000

## Verifiche a taglio

Simbologia adottata

n° (o Is)            indice sezione

Y            ordinata sezione espressa in [m]

B            larghezza sezione espresso in [cm]

H            altezza sezione espressa in [cm]

A<sub>sw</sub>        area ferri a taglio espresso in [cmq]

cot $\theta$  inclinazione delle bielle compresse,  $\theta$  inclinazione dei puntoni di calcestruzzo  
 $V_{Rcd}$  resistenza di progetto a 'taglio compressione' espressa in [kg]  
 $V_{Rsd}$  resistenza di progetto a 'taglio trazione' espressa in [kg]  
 $V_{Rd}$  resistenza di progetto a taglio espresso in [kg]. Per elementi con armature trasversali resistenti al taglio ( $A_{sw}>0.0$ )  $V_{Rd}=\min(V_{Rcd}, V_{Rsd})$ .  
T taglio agente espressa in [kg]  
FS fattore di sicurezza (rapporto tra sollecitazione resistente e sollecitazione agente)

#### Paramento

n°	B [cm]	H [cm]	$A_{sw}$ [cmq]	cot $\theta$	$V_{Rcd}$ [kg]	$V_{Rsd}$ [kg]	$V_{Rd}$ [kg]	T [kg]	FS
1	100	30	0,00	--	0	0	14749	0	100.000
2	100	30	0,00	--	0	0	14759	11	1355.340
3	100	30	0,00	--	0	0	14769	29	507.774
4	100	30	0,00	--	0	0	14779	55	271.074
5	100	30	0,00	--	0	0	14790	87	169.707
6	100	30	0,00	--	0	0	14800	127	116.530
7	100	30	0,00	--	0	0	14810	174	85.046
8	100	30	0,00	--	0	0	14820	229	64.664
9	100	30	0,00	--	0	0	14830	292	50.705
10	100	30	0,00	--	0	0	14841	365	40.640
11	100	30	0,00	--	0	0	14851	448	33.178
12	100	30	0,00	--	0	0	14861	540	27.513
13	100	30	0,00	--	0	0	14871	643	23.136
14	100	30	0,00	--	0	0	14882	755	19.702
15	100	30	0,00	--	0	0	14892	878	16.966
16	100	30	0,00	--	0	0	14902	1010	14.755
17	100	30	0,00	--	0	0	14912	1152	12.945
18	100	30	0,00	--	0	0	14922	1304	11.446
19	100	30	0,00	--	0	0	14933	1465	10.191
20	100	30	0,00	--	0	0	14943	1637	9.130
21	100	30	0,00	--	0	0	14953	1818	8.226
22	100	30	0,00	--	0	0	14963	2009	7.449

#### Fondazione

n°	B [cm]	H [cm]	$A_{sw}$ [cmq]	cot $\theta$	$V_{Rcd}$ [kg]	$V_{Rsd}$ [kg]	$V_{Rd}$ [kg]	T [kg]	FS
1	100	30	0,00	--	0	0	14749	0	100.000
2	100	30	0,00	--	0	0	14749	-602	24.508
3	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1183	12.468
4	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1743	8.460
5	100	30	0,00	--	0	0	14749	-2283	6.461
6	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1914	7.705
7	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1909	7.726
8	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1888	7.813
9	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1851	7.970
10	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1797	8.207
11	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1728	8.536
12	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1639	8.998
13	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1525	9.673
14	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1394	10.583
15	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1234	11.950

n°	B	H	A <sub>sw</sub>	cotθ	V <sub>Rcd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rd</sub>	T	FS
	[cm]	[cm]	[cmq]		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	
16	100	30	0,00	--	0	0	14749	-1046	14.104
17	100	30	0,00	--	0	0	14749	-828	17.813
18	100	30	0,00	--	0	0	14749	-581	25.378
19	100	30	0,00	--	0	0	14749	-305	48.332
20	100	30	0,00	--	0	0	14749	0	100.000

### Verifica delle tensioni

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione, espressa in [m]
B	larghezza sezione, espresso in [cm]
H	altezza sezione, espressa in [cm]
A <sub>fi</sub>	area ferri inferiori, espresso in [cmq]
A <sub>fs</sub>	area ferri superiori, espressa in [cmq]
M	momento agente, espressa in [kgm]
N	sforzo normale agente, espressa in [kg]
σ <sub>c</sub>	tensione di compressione nel cls, espressa in [kPa]
σ <sub>fi</sub>	tensione nei ferri inferiori, espressa in [kPa]
σ <sub>fs</sub>	tensione nei ferri superiori, espressa in [kPa]

### Combinazioni SLER

Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

n°	B	H	A <sub>fi</sub>	A <sub>fs</sub>	M	N	σ <sub>c</sub>	σ <sub>fi</sub>	σ <sub>fs</sub>
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)
2	100	30	7,70	7,70	0	75	2 (13)	34 (13)	35 (13)
3	100	30	7,70	7,70	1	150	5 (13)	65 (13)	72 (13)
4	100	30	7,70	7,70	2	225	8 (13)	90 (13)	115 (13)
5	100	30	7,70	7,70	5	300	12 (13)	107 (13)	166 (13)
6	100	30	7,70	7,70	9	375	17 (13)	114 (13)	228 (13)
7	100	30	7,70	7,70	16	450	23 (13)	106 (13)	303 (13)
8	100	30	7,70	7,70	26	525	31 (13)	83 (13)	396 (13)
9	100	30	7,70	7,70	39	600	41 (13)	25 (13)	511 (13)
10	100	30	7,70	7,70	55	675	57 (13)	132 (13)	668 (13)
11	100	30	7,70	7,70	76	750	79 (13)	500 (13)	876 (13)
12	100	30	7,70	7,70	103	825	111 (13)	1205 (13)	1132 (13)
13	100	30	7,70	7,70	135	900	152 (13)	2321 (13)	1424 (13)
14	100	30	7,70	7,70	174	975	202 (13)	3873 (13)	1745 (13)
15	100	30	7,70	7,70	221	1050	261 (13)	5877 (13)	2097 (13)
16	100	30	7,70	7,70	276	1125	330 (13)	8358 (13)	2482 (13)
17	100	30	7,70	7,70	339	1200	410 (13)	11347 (13)	2905 (13)
18	100	30	7,70	7,70	412	1275	502 (13)	14875 (13)	3371 (13)
19	100	30	7,70	7,70	496	1350	607 (13)	18981 (13)	3882 (13)

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	100	30	7,70	7,70	590	1425	724 (13)	23702 (13)	4443 (13)
21	100	30	7,70	7,70	696	1500	857 (13)	29082 (13)	5059 (13)
22	100	30	7,70	7,70	815	1575	1004 (13)	35163 (13)	5733 (13)

## Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 14940 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 360000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)
2	100	30	7,70	7,70	19	0	23 (13)	1049 (13)	90 (13)
3	100	30	7,70	7,70	75	0	93 (13)	4174 (13)	358 (13)
4	100	30	7,70	7,70	168	0	208 (13)	9339 (13)	802 (13)
5	100	30	7,70	7,70	298	0	367 (13)	16508 (13)	1417 (13)
6	100	30	7,70	7,70	-479	0	591 (13)	2282 (13)	26591 (13)
7	100	30	7,70	7,70	-452	0	558 (13)	2153 (13)	25086 (13)
8	100	30	7,70	7,70	-420	0	518 (13)	1998 (13)	23280 (13)
9	100	30	7,70	7,70	-383	0	472 (13)	1821 (13)	21220 (13)
10	100	30	7,70	7,70	-342	0	421 (13)	1627 (13)	18954 (13)
11	100	30	7,70	7,70	-298	0	368 (13)	1419 (13)	16529 (13)
12	100	30	7,70	7,70	-252	0	311 (13)	1201 (13)	13997 (13)
13	100	30	7,70	7,70	-206	0	254 (13)	981 (13)	11434 (13)
14	100	30	7,70	7,70	-161	0	199 (13)	766 (13)	8927 (13)
15	100	30	7,70	7,70	-118	0	146 (13)	563 (13)	6565 (13)
16	100	30	7,70	7,70	-80	0	99 (13)	381 (13)	4436 (13)
17	100	30	7,70	7,70	-47	0	58 (13)	225 (13)	2627 (13)
18	100	30	7,70	7,70	-22	0	27 (13)	105 (13)	1226 (13)
19	100	30	7,70	7,70	-6	0	7 (13)	28 (13)	321 (13)
20	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (13)	0 (13)	0 (13)

## Combinazioni SLEF

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24900 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)
2	100	30	7,70	7,70	0	75	2 (14)	34 (14)	35 (14)
3	100	30	7,70	7,70	1	150	5 (14)	65 (14)	72 (14)
4	100	30	7,70	7,70	2	225	8 (14)	90 (14)	115 (14)
5	100	30	7,70	7,70	5	300	12 (14)	107 (14)	166 (14)
6	100	30	7,70	7,70	9	375	17 (14)	114 (14)	228 (14)
7	100	30	7,70	7,70	16	450	23 (14)	106 (14)	303 (14)
8	100	30	7,70	7,70	26	525	31 (14)	83 (14)	396 (14)
9	100	30	7,70	7,70	39	600	41 (14)	25 (14)	511 (14)
10	100	30	7,70	7,70	55	675	57 (14)	132 (14)	668 (14)



n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
11	100	30	7,70	7,70	76	750	79 (14)	500 (14)	876 (14)
12	100	30	7,70	7,70	103	825	111 (14)	1205 (14)	1132 (14)
13	100	30	7,70	7,70	135	900	152 (14)	2321 (14)	1424 (14)
14	100	30	7,70	7,70	174	975	202 (14)	3873 (14)	1745 (14)
15	100	30	7,70	7,70	221	1050	261 (14)	5877 (14)	2097 (14)
16	100	30	7,70	7,70	276	1125	330 (14)	8358 (14)	2482 (14)
17	100	30	7,70	7,70	339	1200	410 (14)	11347 (14)	2905 (14)
18	100	30	7,70	7,70	412	1275	502 (14)	14875 (14)	3371 (14)
19	100	30	7,70	7,70	496	1350	607 (14)	18980 (14)	3882 (14)
20	100	30	7,70	7,70	590	1425	724 (14)	23698 (14)	4443 (14)
21	100	30	7,70	7,70	696	1500	856 (14)	29065 (14)	5057 (14)
22	100	30	7,70	7,70	814	1575	1003 (14)	35121 (14)	5729 (14)

## Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 24900 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)
2	100	30	7,70	7,70	18	0	23 (14)	1024 (14)	88 (14)
3	100	30	7,70	7,70	73	0	91 (14)	4074 (14)	350 (14)
4	100	30	7,70	7,70	164	0	203 (14)	9119 (14)	783 (14)
5	100	30	7,70	7,70	291	0	359 (14)	16127 (14)	1384 (14)
6	100	30	7,70	7,70	-456	0	562 (14)	2169 (14)	25272 (14)
7	100	30	7,70	7,70	-429	0	530 (14)	2044 (14)	23813 (14)
8	100	30	7,70	7,70	-398	0	491 (14)	1895 (14)	22080 (14)
9	100	30	7,70	7,70	-363	0	447 (14)	1726 (14)	20115 (14)
10	100	30	7,70	7,70	-324	0	399 (14)	1542 (14)	17961 (14)
11	100	30	7,70	7,70	-282	0	348 (14)	1344 (14)	15660 (14)
12	100	30	7,70	7,70	-239	0	295 (14)	1138 (14)	13259 (14)
13	100	30	7,70	7,70	-195	0	241 (14)	929 (14)	10829 (14)
14	100	30	7,70	7,70	-152	0	188 (14)	726 (14)	8454 (14)
15	100	30	7,70	7,70	-112	0	138 (14)	534 (14)	6217 (14)
16	100	30	7,70	7,70	-76	0	93 (14)	360 (14)	4200 (14)
17	100	30	7,70	7,70	-45	0	55 (14)	213 (14)	2487 (14)
18	100	30	7,70	7,70	-21	0	26 (14)	100 (14)	1161 (14)
19	100	30	7,70	7,70	-5	0	7 (14)	26 (14)	304 (14)
20	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (14)	0 (14)	0 (14)

## Combinazioni SLEQ

### Paramento

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11205 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)
2	100	30	7,70	7,70	0	77	3 (16)	34 (15)	37 (16)
3	100	30	7,70	7,70	2	154	6 (16)	65 (15)	80 (16)
4	100	30	7,70	7,70	4	231	10 (16)	90 (15)	132 (16)
5	100	30	7,70	7,70	10	308	15 (16)	107 (15)	198 (16)
6	100	30	7,70	7,70	17	385	22 (16)	114 (15)	281 (16)
7	100	30	7,70	7,70	29	462	31 (16)	106 (15)	386 (16)
8	100	30	7,70	7,70	42	511	45 (16)	104 (17)	530 (16)
9	100	30	7,70	7,70	61	584	66 (16)	434 (17)	726 (16)
10	100	30	7,70	7,70	89	693	96 (16)	1104 (16)	971 (16)
11	100	30	7,70	7,70	120	770	136 (16)	2190 (16)	1251 (16)
12	100	30	7,70	7,70	159	847	185 (16)	3719 (16)	1564 (16)
13	100	30	7,70	7,70	205	924	243 (16)	5722 (16)	1910 (16)
14	100	30	7,70	7,70	260	1001	313 (16)	8234 (16)	2295 (16)
15	100	30	7,70	7,70	325	1078	395 (16)	11295 (16)	2722 (16)
16	100	30	7,70	7,70	401	1155	489 (16)	14949 (16)	3197 (16)
17	100	30	7,70	7,70	487	1232	598 (16)	19239 (16)	3724 (16)
18	100	30	7,70	7,70	586	1309	721 (16)	24210 (16)	4307 (16)
19	100	30	7,70	7,70	699	1386	860 (16)	29909 (16)	4951 (16)
20	100	30	7,70	7,70	825	1463	1017 (16)	36382 (16)	5660 (16)
21	100	30	7,70	7,70	965	1540	1191 (16)	43673 (16)	6438 (16)
22	100	30	7,70	7,70	1121	1617	1385 (16)	51831 (16)	7289 (16)

Fondazione

Tensione massima di compressione nel calcestruzzo 11205 [kPa]

Tensione massima di trazione dell'acciaio 450000 [kPa]

n°	B	H	Afi	Afs	M	N	$\sigma_c$	$\sigma_{fi}$	$\sigma_{fs}$
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kg]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
1	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)
2	100	30	7,70	7,70	22	0	28 (16)	1241 (16)	107 (16)
3	100	30	7,70	7,70	89	0	109 (16)	4921 (16)	422 (16)
4	100	30	7,70	7,70	198	0	244 (16)	10974 (16)	942 (16)
5	100	30	7,70	7,70	349	0	430 (16)	19333 (16)	1659 (16)
6	100	30	7,70	7,70	-1011	0	1247 (17)	4814 (17)	56092 (17)
7	100	30	7,70	7,70	-931	0	1148 (17)	4432 (17)	51638 (17)
8	100	30	7,70	7,70	-845	0	1042 (17)	4021 (17)	46854 (17)
9	100	30	7,70	7,70	-754	0	930 (17)	3590 (17)	41827 (17)
10	100	30	7,70	7,70	-661	0	815 (17)	3145 (17)	36644 (17)
11	100	30	7,70	7,70	-566	0	698 (17)	2694 (17)	31393 (17)
12	100	30	7,70	7,70	-472	0	582 (17)	2246 (17)	26163 (17)
13	100	30	7,70	7,70	-380	0	469 (17)	1809 (17)	21072 (17)
14	100	30	7,70	7,70	-293	0	361 (17)	1394 (17)	16246 (17)
15	100	30	7,70	7,70	-213	0	263 (17)	1014 (17)	11813 (17)
16	100	30	7,70	7,70	-142	0	176 (17)	678 (17)	7900 (17)
17	100	30	7,70	7,70	-84	0	103 (17)	398 (17)	4635 (17)
18	100	30	7,70	7,70	-39	0	48 (17)	184 (17)	2145 (17)
19	100	30	7,70	7,70	-10	0	12 (17)	48 (17)	557 (17)
20	100	30	7,70	7,70	0	0	0 (15)	0 (15)	0 (15)

## Verifica a fessurazione

Simbologia adottata

n°	indice sezione
Y	ordinata sezione espressa in [m]
B	larghezza sezione espresso in [cm]
H	altezza sezione espressa in [cm]
Af	area ferri zona tesa espresso in [cmq]
Aeff	area efficace espressa in [cmq]
M	momento agente espressa in [kgm]
Mpf	momento di formazione/apertura fessure espressa in [kgm]
$\epsilon$	deformazione espresso in %
Sm	spaziatura tra le fessure espressa in [mm]
w	apertura delle fessure espressa in [mm]

## Combinazioni SLEF

Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)
2	100	30	7,70	788,78	0	5210	0,000000	0,00	0,000 (14)
3	100	30	7,70	788,50	1	5214	0,000000	0,00	0,000 (14)
4	100	30	7,70	788,22	2	5218	0,000000	0,00	0,000 (14)
5	100	30	7,70	787,94	5	5222	0,000000	0,00	0,000 (14)
6	100	30	7,70	787,66	9	5226	0,000000	0,00	0,000 (14)
7	100	30	7,70	787,38	16	5230	0,000000	0,00	0,000 (14)
8	100	30	7,70	787,10	26	5234	0,000000	0,00	0,000 (14)
9	100	30	7,70	786,82	39	5237	0,000000	0,00	0,000 (14)
10	100	30	7,70	786,54	55	5241	0,000000	0,00	0,000 (14)
11	100	30	7,70	786,26	76	5245	0,000000	0,00	0,000 (14)
12	100	30	7,70	785,98	103	5249	0,000000	0,00	0,000 (14)
13	100	30	7,70	785,70	135	5253	0,000000	0,00	0,000 (14)
14	100	30	7,70	785,42	174	5257	0,000000	0,00	0,000 (14)
15	100	30	7,70	785,14	221	5261	0,000000	0,00	0,000 (14)
16	100	30	7,70	784,86	276	5265	0,000000	0,00	0,000 (14)
17	100	30	7,70	784,58	339	5268	0,000000	0,00	0,000 (14)
18	100	30	7,70	784,30	412	5272	0,000000	0,00	0,000 (14)
19	100	30	7,70	784,02	496	5276	0,000000	0,00	0,000 (14)
20	100	30	7,70	783,74	590	5280	0,000000	0,00	0,000 (14)
21	100	30	7,70	783,46	696	5284	0,000000	0,00	0,000 (14)
22	100	30	7,70	783,18	814	5287	0,000000	0,00	0,000 (14)

Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.40$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)
2	100	30	7,70	789,06	18	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
3	100	30	7,70	789,06	73	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
4	100	30	7,70	789,06	164	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
5	100	30	7,70	789,06	291	5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
6	100	30	7,70	789,06	-456	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
7	100	30	7,70	789,06	-429	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
8	100	30	7,70	789,06	-398	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
9	100	30	7,70	789,06	-363	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
10	100	30	7,70	789,06	-324	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
11	100	30	7,70	789,06	-282	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
12	100	30	7,70	789,06	-239	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
13	100	30	7,70	789,06	-195	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
14	100	30	7,70	789,06	-152	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
15	100	30	7,70	789,06	-112	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
16	100	30	7,70	789,06	-76	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
17	100	30	7,70	789,06	-45	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
18	100	30	7,70	789,06	-21	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
19	100	30	7,70	789,06	-5	-5206	0,000000	0,00	0,000 (14)
20	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (14)

## Combinazioni SLEQ

Paramento

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	$\epsilon$	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)
2	100	30	7,70	788,78	0	5210	0,000000	0,00	0,000 (15)
3	100	30	7,70	788,50	1	5214	0,000000	0,00	0,000 (15)
4	100	30	7,70	788,22	2	5218	0,000000	0,00	0,000 (15)
5	100	30	7,70	787,94	5	5222	0,000000	0,00	0,000 (15)
6	100	30	7,70	787,66	9	5226	0,000000	0,00	0,000 (15)
7	100	30	7,70	787,38	16	5230	0,000000	0,00	0,000 (15)
8	100	30	7,70	787,10	26	5234	0,000000	0,00	0,000 (15)
9	100	30	7,70	786,82	39	5237	0,000000	0,00	0,000 (15)
10	100	30	7,70	786,54	55	5241	0,000000	0,00	0,000 (15)
11	100	30	7,70	786,26	76	5245	0,000000	0,00	0,000 (15)
12	100	30	7,70	785,98	103	5249	0,000000	0,00	0,000 (15)
13	100	30	7,70	785,70	135	5253	0,000000	0,00	0,000 (15)
14	100	30	7,70	785,42	174	5257	0,000000	0,00	0,000 (15)
15	100	30	7,70	785,14	221	5261	0,000000	0,00	0,000 (15)
16	100	30	7,70	784,86	276	5265	0,000000	0,00	0,000 (15)
17	100	30	7,70	784,58	339	5268	0,000000	0,00	0,000 (15)
18	100	30	7,70	784,30	412	5272	0,000000	0,00	0,000 (15)
19	100	30	7,70	784,02	496	5276	0,000000	0,00	0,000 (15)
20	100	30	7,70	783,74	590	5280	0,000000	0,00	0,000 (15)
21	100	30	7,70	783,46	696	5284	0,000000	0,00	0,000 (15)

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	ε	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
22	100	30	7,70	783,18	814	5287	0,000000	0,00	0,000 (15)

Fondazione

Apertura limite fessure  $w_{lim}=0.30$

n°	B	H	Af	Aeff	M	Mpf	ε	Sm	w
	[cm]	[cm]	[cmq]	[cmq]	[kgm]	[kgm]	[%]	[mm]	[mm]
1	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)
2	100	30	7,70	789,06	17	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
3	100	30	7,70	789,06	69	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
4	100	30	7,70	789,06	156	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
5	100	30	7,70	789,06	275	5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
6	100	30	7,70	789,06	-420	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
7	100	30	7,70	789,06	-393	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
8	100	30	7,70	789,06	-363	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
9	100	30	7,70	789,06	-329	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
10	100	30	7,70	789,06	-293	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
11	100	30	7,70	789,06	-255	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
12	100	30	7,70	789,06	-216	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
13	100	30	7,70	789,06	-176	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
14	100	30	7,70	789,06	-137	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
15	100	30	7,70	789,06	-101	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
16	100	30	7,70	789,06	-68	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
17	100	30	7,70	789,06	-40	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
18	100	30	7,70	789,06	-19	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
19	100	30	7,70	789,06	-5	-5206	0,000000	0,00	0,000 (15)
20	100	30	0,00	0,00	0	0	---	---	0,000 (15)

Le VERIFICHE STRUTTURALI SONO AMPIAMENTE SODDISFATTE, sia allo SLU che agli SLE.

## **10. CONCLUSIONI**

Nel presente elaborato sono stati illustrati i risultati delle verifiche geotecniche di stabilità e strutturali effettuate per le opere previste nell'ambito del progetto di "ADEGUAMENTO FUNZIONALE TRATTO PINO TORINESE (GALLERIA) - CONFINE PROVINCIALE [EX S.R. 10]" - II LOTTO (COD. 020TO09)", da realizzare nell'ambito del territorio comunale di Pino Torinese (To). L'intervento in progetto riguarda l'adeguamento funzionale e messa in sicurezza di un incrocio della strada Provinciale n.10 nel territorio comunale di Pino Torinese mediante la realizzazione di rotatorie. L'intervento prevede due rotatorie per il collegamento della strada provinciale n.10 alla strada comunale Via Folis.

Le opere in progetto su cui sono state effettuate le verifiche geotecniche e strutturali sono due muri di contenimento in c.a..

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di sedime presenti, si è fatto riferimento all'"Elab.4\_Relazione\_geotecnica".

Tutte le verifiche hanno dato esito positivo, confermando che la corretta esecuzione delle opere in progetto garantirà la stabilità delle scarpate ad esse competenti.

Le verifiche hanno fatto riferimento all'attuale normativa vigente, il DM 17/01/2018.

Tutte le verifiche effettuate risultano **SODDISFATTE**.