

## COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

Città Metropolitana di Bologna

III<sup>^</sup> Area - Gestione del Territorio

SETTORE LAVORI PUBBLICI

### INTERVENTO DI RICUCITURA TRATTI PISTE CICLO-PEDONALI LUNGO IL PERCORSO VIA FONDE' - VIA REMIGIA

COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA

CUP: E67H23001070006

INTERVENTO COFINANZIATO: PR FESR 2021-2027 – Azione 2.8.1. Bando per favorire la realizzazione di piste ciclabili e progetti di mobilità dolce e ciclopedonale (D.G.R. 658/2023)

### PROGETTO ESECUTIVO

IL DIRIGENTE III<sup>^</sup> AREA  
GESTIONE DEL TERRITORIO  
Ing. Giuseppe COLAROSSO

PROGETTO GENERALE  
INFRASTRUTTURE:  
geom. Luca LA GANGA  
geom. Aurelio ESPOSITO

PROGETTO STRUTTURE  
Ing. Andrea SERENI  
PROGETTO IMPIANTI IIPP  
Ing. Giovanni STAGNI

IL RESPONSABILE DEL  
SETTORE  
Ing. Irene CAVINA

SUPPORTO PROGETTO VERDE:  
Marco GRILLINI

PROGETTO IDRAULICO  
Ing. Michele ANSALONI

IL RESPONSABILE UNICO  
DEL PROGETTO  
Ing. Irene CAVINA

SUPPORTO PROGETTO:  
Ing. Luca MAGI  
Ing. Enrico TORTORI  
geom. Fabio SASSI

COORDINATORE SICUREZZA  
PROGETTAZIONE:  
Ing. Claudia PRESTIA

OGGETTO:

### RELAZIONE TECNICA DELLE OPERE STRUTTURALI

*(Illustrazione sintetica degli elementi essenziali del progetto strutturale)*

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	TAVOLA:
00	3/24	EMISSIONE	<b>STR.1</b>
			SCALA:

Comune di San Lazzaro Di Savena

Piazza Bracci n° 1, 40068 San Lazzaro di Savena

Tel. 051 / 6228111 Fax 051 / 6228014

<b>1. CONTESTO EDILIZIO E CARATTERISTICHE DEL SITO .....</b>	<b>2</b>
<b>2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>2</b>
<b>3. NORMATIVA TECNICA .....</b>	<b>3</b>
<b>4. PARAMETRI DI PROGETTO.....</b>	<b>4</b>
4.1. Azione sismica .....	4
4.2. Carichi permanenti .....	4
4.3. Carichi variabili.....	4
<b>5. MATERIALI .....</b>	<b>4</b>
<b>6. CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE.....</b>	<b>5</b>
<b>7. COMBINAZIONI DELLE AZIONI .....</b>	<b>5</b>
<b>8. METODO DI ANALISI.....</b>	<b>6</b>
<b>9. CRITERI DI VERIFICA IN PRESENZA DI AZIONE SISMICA.....</b>	<b>6</b>
<b>10. RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE, SINTESI DELLE VERIFICHE E GIUDIZIO DI ACCETTABILITÀ</b>	<b>6</b>
10.1. Rappresentazioni grafiche .....	6
10.2. Sintesi delle verifiche di sicurezza .....	8
10.3. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	8
<b>11. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO.....</b>	<b>9</b>
<b>12. STRUTTURE DI FONDAZIONE .....</b>	<b>9</b>

# 1. CONTESTO EDILIZIO E CARATTERISTICHE DEL SITO

Il progetto in esame riguarda l'intervento di ricucitura di tratti di piste ciclo-pedonali lungo il percorso via Fondè - via Remigia" nel comune di San Lazzaro di Savena.

Nello specifico il presente elaborato ha come oggetto gli interventi strutturali necessari alla realizzazione di un tratto di pista ciclabile in via Fondè, tra via Scuole del Farneto/via Vernizza e via Renata Viganò



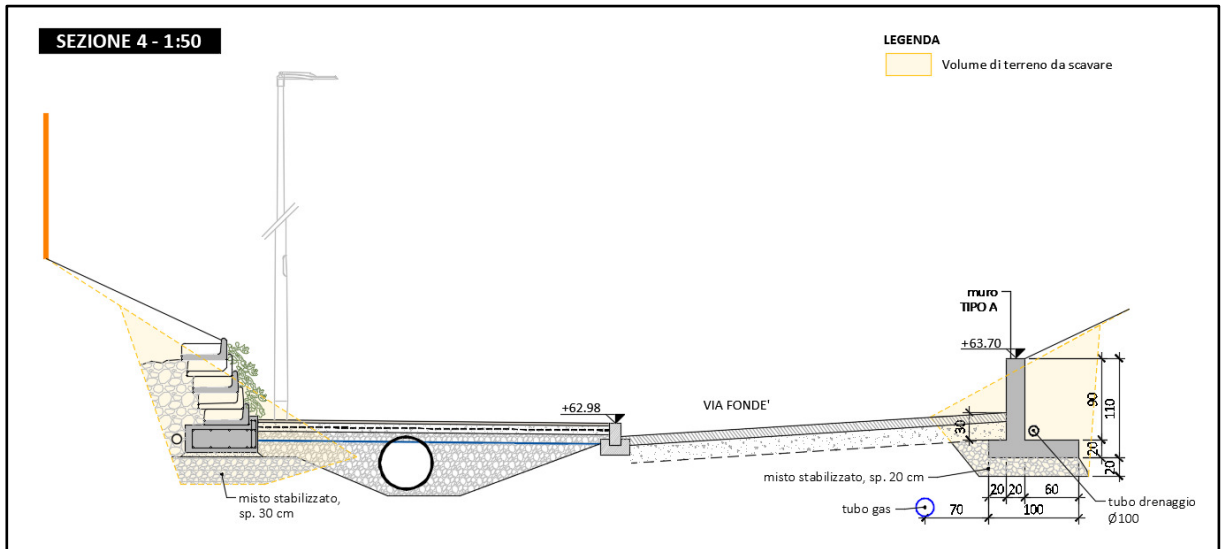
*Localizzazione dell'area di intervento*

Gli interventi strutturali riguardano la realizzazione di muri di sostegno con lo scopo di garantire una idonea larghezza trasversale di via Fondè che dovrà avere, nella configurazione di progetto, una carreggiata carrabile a senso unico di circolazione + un percorso ciclopedonale.

## 2. DESCRIZIONE GENERALE DELLA STRUTTURA

La nuova pista ciclopedonale sorgerà nel lato ovest di via Fondè grazie anche al tombamento di un fosso esistente. Per ricavare lo spazio necessario alla nuova pista è necessario:

- occupare una porzione di carreggiata di via Fondè. Per tale motivo, al fine di non ridurre la larghezza della carreggiata nella condizione post-intervento verrà realizzato un muro in c.a. nel lato est che consentirà di allargarsi su tale lato.
- Prendere una porzione della scapata ovest (attualmente al lato del fosso) previa realizzazione di un muro di sostegno a secco mediante blocchi LOFFEL idoneamente dimensionato.



#### Stralcio della tavola strutturale con evidenziata una sezione lungo il tracciato

Si dovranno realizzare quindi, in entrambi i lati di via Fondè, dei muri di sostegno controterra ma nel lato est verranno eseguiti muri in c.a. mentre nel lato ovest verrà impiegata la tecnologia dei muri a secco mediante blocchi LOFFEL.

I muri in c.a. nel lato est avranno uno sviluppo lineare totale di circa 130 m (diviso in due tratti di circa 87 e 44 m). vista la lunghezza, la parete del muro sarà divisa in tratti di circa 15 m al fine di evitare fessurazioni derivanti da ritiro e dilatazioni termiche. I muri hanno sezioni di 20 cm di spessore (sia la soletta che la parete). La soletta di base ha lunghezza 100 cm mentre la parete ha altezza pari a 90 cm nel tratto sud e 110 cm nel tratto nord.

Il muro nel lato ovest sarà realizzato con la tecnologia dei muri a secco facendo uso di blocchi LOFFEL. Il muro ha un'estensione di circa 190 m e la sua altezza fuori terra varia da 50 a 100 cm. Il muro avrà un'inclinazione di 70° rispetto all'orizzontale e sarà appoggiato ad una fondazione in c.a. 80x30(H) cm. Il singolo blocco ha profondità 50 cm, larghezza 45 cm e altezza 18 cm.

### 3. NORMATIVA TECNICA

Il progetto delle strutture è stato pertanto eseguito in accordo con le seguenti norme:

- **Legge 5 novembre 1971, n. 1086:** *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- **Legge 2 febbraio 1974, n. 64:** *Provvedimenti per la costruzione con particolari prescrizioni per le zone sismiche.*
- **D.M. 17 gennaio 2018:** *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".*
- **Circolare 21 gennaio 2019, n. 7:** *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.*
- **D.M. 11/3/1988:** *Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.*
- **Associazione Geotecnica Italiana:** *Aspetti Geotecnici della progettazione in zona sismica - Linee Guida" Marzo 2005.*

- **Eurocodice 8: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5 - Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici" 01/01/2005.**

## 4. PARAMETRI DI PROGETTO

Per l'intervento in esame, ubicato nel comune di San Lazzaro di Savena (coordinate geografiche del sito: 11,408 E; 44,470 N), sono stati considerati i seguenti valori di vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento:

- $V_N = 50$  anni;
- Classe d'uso II (costruzione il cui uso preveda normali affollamenti)  $\rightarrow C_U = 1$ ;
- $V_R = V_N \cdot C_U = 50$  anni (periodo di riferimento per l'azione sismica).

### 4.1. Azione sismica

Per quanto riguarda le categorie di sottosuolo e topografica, con riferimento alla relazione riguardante il *modello geologico, sismico e geotecnico*, redatta dal Dott. Geol. Paolo Trenti e dal Dott. Geol. Maria Cristina Verrecchia nel marzo 2024, risulta:

- Categoria di sottosuolo: B;
- Categoria topografica: T1.

Quindi, in riferimento alla zona in esame e agli stati limite di salvaguardia della vita (SLV) i parametri sismici sono:

- $a_g/g = 0.175$
- coefficiente di amplificazione topografica = 1.0
- coefficiente di amplificazione stratigrafica = 1.2
- coefficiente  $\beta$  (secondo §7.11.6.2.1 delle NTC2018) = 0.38

### 4.2. Carichi permanenti

I carichi permanenti del terreno sono riguardano la spinta attiva del terreno, derivante dai seguenti parametri meccanici del terreno:

$\gamma$ (peso di volume del terreno) .....	1720 kg/m <sup>3</sup>
$\Phi$ (angolo di attrito interno) .....	21,9°
$c'$ (coesione drenata) .....	4,6 kPa

Per quanto riguarda il muro a secco, l'inclinazione del terreno presente in sommità del muro è stata considerata applicando un sovraccarico permanente che, valutando la dimensione del concio, è definita pari a 500 kg/m<sup>2</sup>

### 4.3. Carichi variabili

Per quanto riguarda il carico variabili, è stato considerato cautelativamente il valore di  $q_k = 500$  kg/m<sup>2</sup>

## 5. MATERIALI

Per quanto riguarda gli interventi, si prevede l'utilizzo dei materiali di seguito specificati.

- *Calcestruzzo C 28/35 (per muro in c.a. lato est)*

resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2$
resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 249 \text{ kg/cm}^2$
modulo elastico ( $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3}$ ):	$E_{cm} = 326.000 \text{ kg/cm}^2$
densità:	$\gamma = 2.400 \text{ kg/m}^3$
  
- *Calcestruzzo C 25/30 (per fondazione muro a secco lato ovest)*

resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$
resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck} = 0,83 \cdot R_{ck} = 291 \text{ kg/cm}^2$
modulo elastico ( $E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm}/10]^{0,3}$ ):	$E_{cm} = 314.500 \text{ kg/cm}^2$
densità:	$\gamma = 2.400 \text{ kg/m}^3$
  
- *Acciaio per cemento armato normale B450C:*

tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 4.500 \text{ kg/cm}^2$
tensione caratteristica di rottura:	$f_{yt} = 5.400 \text{ kg/cm}^2$
  
- *Caratteristiche Blocco LOFFEL considerato nel calcolo*

Peso blocco singolo:	60 kg
Dimensioni:	45x50x18 cm
Calcestruzzo classe:	C32/40
Permeabilità:	penetrazione massima 20 mm, secondo UNI EN 12390/8
Classe di esposizione:	XC3
densità:	$\gamma = 2.400 \text{ kg/m}^3$

## 6. CRITERI DI PROGETTAZIONE E DI MODELLAZIONE

Il dimensionamento delle opere ha tenuto conto del soddisfacimento delle verifiche agli stati limite ultimi di tipo geotecnico (GEO) e di tipo strutturale (STR) in accordo al §6.5.3.1.1. delle NTC2018.

La verifica di stabilità globale (GEO) è stata eseguita secondo l'approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2) mentre per tutte le altre verifiche è stato seguito l'approccio 2 (A1+M1+R3).

Per la progettazione dell'intervento sono stati eseguiti calcolo mediante fogli elettronici facendo ovviamente riferimento alla formulazioni contenute nelle NTC2018.

Come detto al paragrafo precedente, per il muro a secco. L'inclinazione del terreno in sommità del muro è stata considerata nel calcolo valutandola con un sovraccarico permanente di 500 kg/m<sup>2</sup> (aggiuntivo rispetto a quello variabile, anch'esso di 500 kg/m<sup>2</sup>).

Per il muro in c.a. invece è stato considerata l'inclinazione del terreno anche ai fini della spinta del terreno.

## 7. COMBINAZIONI DELLE AZIONI

In accordo alle NTC2018, le azioni agenti sulle strutture in esame sono state amplificate secondo i coefficienti parziali della Tab. 6.2.I per le combinazioni allo SLU statiche e secondo la Tab. 7.11.III per le combinazioni sismiche allo SLV.

## 8. METODO DI ANALISI

Gli effetti delle azioni statiche sono stati valutati mediante un'analisi statica lineare, quelli dell'azione sismica mediante un'analisi pseudo-statica dove l'azione derivante dal sisma è stata considerata come una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico valutato secondo il § 7.11.6.2.1 delle NTC2018 (definizione dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticali  $k_v$ )

## 9. CRITERI DI VERIFICA IN PRESENZA DI AZIONE SISMICA

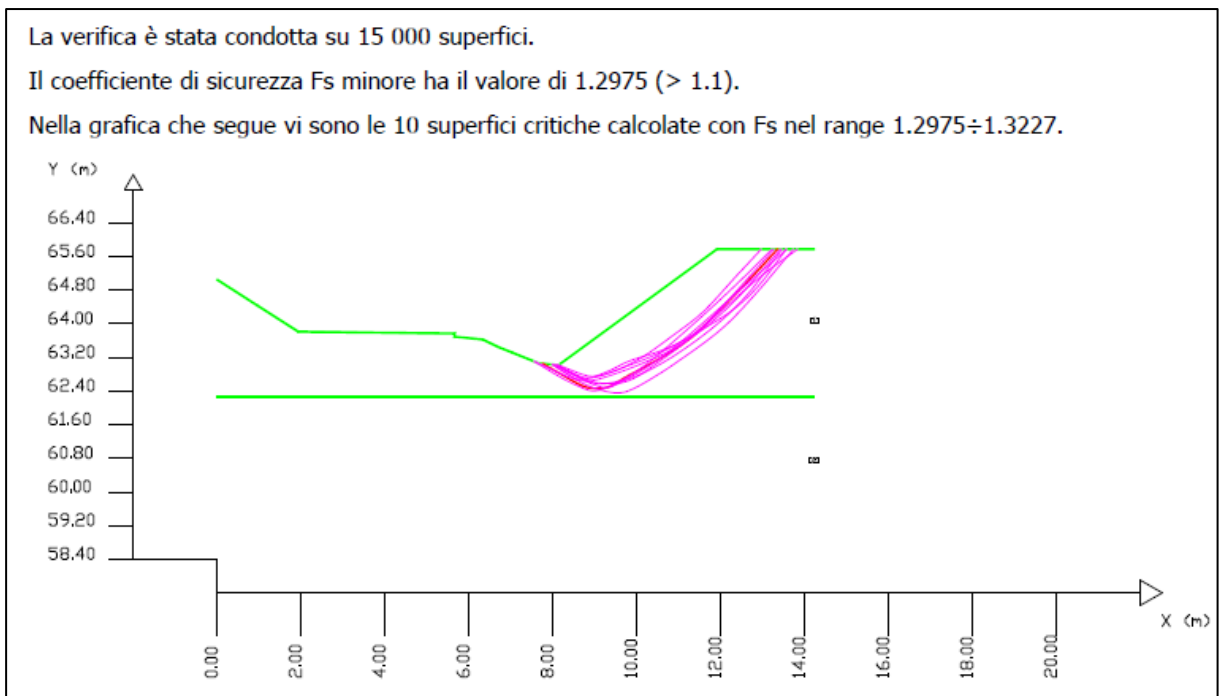
In presenza di azione sismica, sono state eseguite verifiche controllando che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni ponendo come unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

## 10. RAPPRESENTAZIONI GRAFICHE, SINTESI DELLE VERIFICHE E GIUDIZIO DI ACCETTABILITÀ

### 10.1. Rappresentazioni grafiche

Vista la tipologia di intervento non è stato eseguito un modello di calcolo pertanto non vi sono rappresentazioni grafiche derivanti da modellazioni, utili alla comprensione delle calcolazioni.

Per quanto riguarda invece le verifiche di Stabilità globale, nella relazione geologica-geotecnica del geol. Paolo Trenti sono riportate anche in maniera grafica le rappresentazioni delle verifiche. Di seguito si riportano tre immagini rappresentative delle verifiche di stabilità eseguite in riferimento allo stato attuale, allo stato intermedio (dopo lo scavo e prima di eseguire il mura a secco) e nella configurazione finale di progetto.

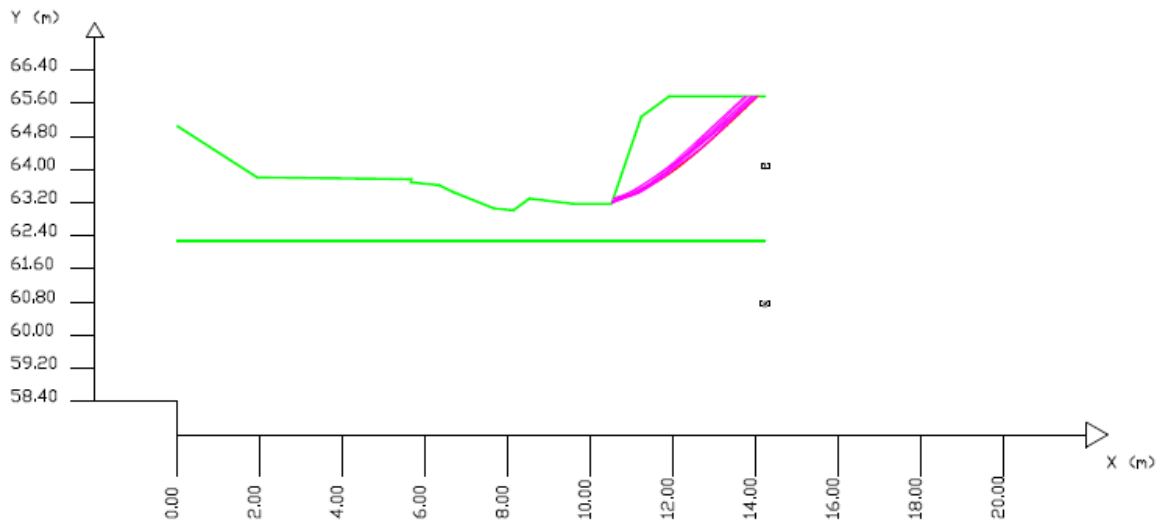


*Verifica stabilità stato attuale (pre-intervento)*

La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza  $F_s$  minore ha il valore di 9.1168 ( $> 1.1$ ).

Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con  $F_s$  nel range 9.1164÷9.5310.

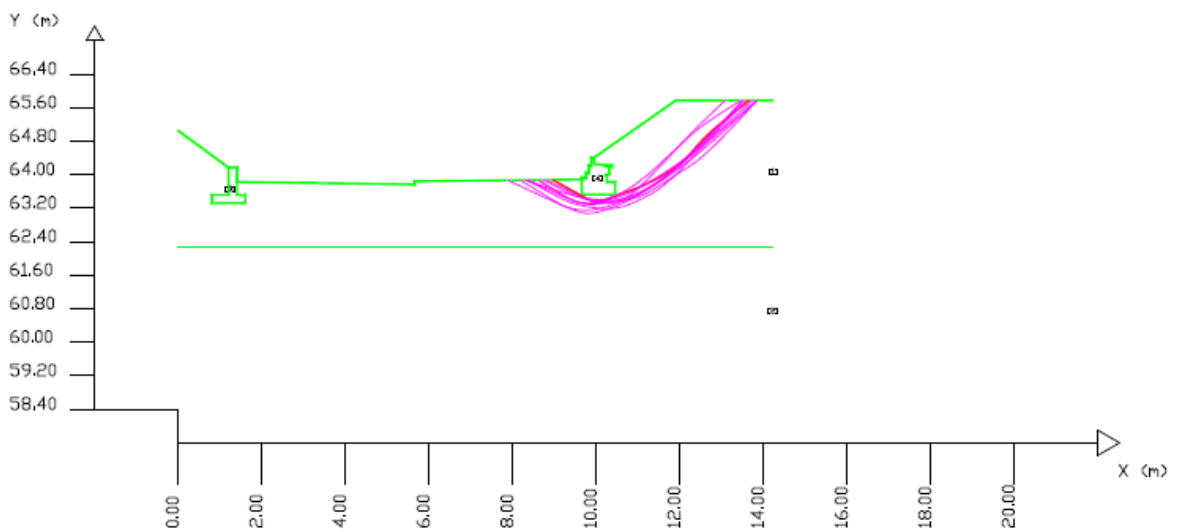


*Verifica stabilità stato intermedio (situazione di cantiere)*

La verifica è stata condotta su 15 000 superfici.

Il coefficiente di sicurezza  $F_s$  minore ha il valore di 1.522 ( $> 1.1$ ).

Nella grafica che segue vi sono le 10 superfici critiche calcolate con  $F_s$  nel range 1.522÷1.649.



*Verifica stabilità stato finale (configurazione di progetto)*



## 10.2. Sintesi delle verifiche di sicurezza

Si riporta nella tabella seguente la sintesi delle verifiche di sicurezza delle opere strutturali in progetto valutando le condizioni maggiormente gravose tra tutte le condizioni statiche (SLU) e sismiche (SLV) analizzate.

Le verifiche, riportate nel dettaglio nell'elaborato *Relazione di calcolo delle strutture*, vengono qui sintetizzate in termini di rapporti Domanda/Capacità (D/C) e sono pertanto **soddisfatte se  $D/C < 1$** . Per ciascun tipo di verifica è stato riportato il maggiore tra i rapporti D/C ottenuti da tutte le verifiche eseguite distinguendo le verifiche relative al muro a secco (lato ovest) e quelle relative al muro in c.a (lato est).

SINTESI DELLE VERIFICHE - MURO A SECCO			
TIPOLOGIA DI VERIFICA	COMB. MAGGIORMENTE GRAVOSA	D/C	
STABILITA' GLOBALE (GEO)	SLU	0,77	< 1
RIBALTAMENTO (GEO)	SLV	0,75	< 1
SCORRIMENTO (GEO)	SLV	0,94	< 1
VERIFICA DELLA PORTATA DEL TERRENO SOTTO LA FONDAZIONE (GEO)	SLU	0,15	< 1
SCHIACCIAMENTO PER COMPRESIONE VERTICALE DEI BLOCCHI (STR)	SLU	0,40	< 1

SINTESI DELLE VERIFICHE - MURO IN C.A.			
TIPOLOGIA DI VERIFICA	COMB. MAGGIORMENTE GRAVOSA	D/C	
STABILITA' GLOBALE (GEO)	SLU	0,77	< 1
RIBALTAMENTO (GEO)	SLV	0,92	< 1
SCORRIMENTO (GEO)	SLV	0,92	< 1
VERIFICA DELLA PORTATA DEL TERRENO SOTTO LA FONDAZIONE (GEO)	SLU	0,26	< 1
VERIFICA ARMATURE VERIFICA FLESSIONE A MOMENTO MASSIMO	SLU	0,16	< 1
VERIFICA ARMATURE VERIFICA A TAGLIO	SLU	0,22	< 1

## 10.3. Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati ottenuti dai fogli di calcolo sono stati confrontati con quelli ottenuto da semplici calcolazioni a mano al fine di accertarsi della correttezza dei dati di input immessi e del corretto approccio numerico. I risultati delle calcolazioni sono ritenuti pertanto accettabili.

## 11. CARATTERISTICHE E AFFIDABILITÀ DEL CODICE DI CALCOLO

Per il calcolo del muro in c.a. si è fatto uso di codici di calcolo specifici eccetto semplici fogli di calcolo in Excel.

Per il calcolo del muro a secco si è fatto uso del software “LOFFEL” fornito dal produttore dei blocchi.

Dal punto di vista statico il meccanismo resistente del muro si basa sul trasferimento delle azioni verticali ed orizzontali trasmesse dal terreno a tergo tra le successive file di blocchi fino alla fondazione e quindi al terreno di base. Le verifiche di stabilità vengono svolte secondo le metodologie classiche dei muri a gravità specializzate per la tipologia di muro considerata. La verifica statica del muro viene condotta dal codice di calcolo automatico che valuta il rapporto  $R_d/E_d$  che si realizza, per le verifiche previste dalla normativa, in corrispondenza delle singole file di blocchi, ad iniziare dalla sommità del muro fino alla sua base. Vengono inoltre prese in esame sia la possibile presenza di sovraccarichi di monte, conteggiati sulla base della loro entità, estensione e distanza dal ciglio del muro, che le pendenze dell’estradosso sia di monte che di valle dell’opera di progetto. Il calcolo viene condotto considerando l’azione sismica, valutata sulla base della classificazione sismica della zona in esame, e di quanto previsto dalla normativa italiana DM 17/01/2018 (Verifiche di stabilità locali – SLU di tipo geotecnica e strutturale).

Informazioni generali sull’elaborazione: vengono di seguito riportate le principali caratteristiche dell’elaboratore utilizzato.

- Edizione Windows: Windows 10 Pro
- Produttore: Dell
- Processore: 13th Gen Intel(R) Core(TM) i7-13700 2.10 GHz
- Memoria (RAM): 16,00 GB
- Tipo sistema: Sistema operativo a 64 bit

## 12. STRUTTURE DI FONDAZIONE

Le caratteristiche del terreno sono state dedotte sulla base delle indagini geologiche effettuate sull’area interessata dall’intervento. I risultati di dette indagini sono riportati nella relazione progetto di realizzazione di una pista ciclopedonale in via Fondè - modello geologico, sismico e geotecnico” redatta dal Dott. Geol. Paolo Trenti e dal Dott. Geol. Maria Cristina Verrecchia nel marzo 2024.

La capacità portante del terreno alla profondità in cui verranno realizzati i basamenti dei muri di sostegno risulta pari a  $7,64 \text{ kg/cm}^2$ . L’Approccio 2 previsto dal D.M. 17-01-2018 comporta poi l’adozione di un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2,3$ , con conseguente riduzione del valore ottenuto a  $3,32 \text{ kg/cm}^2$ .