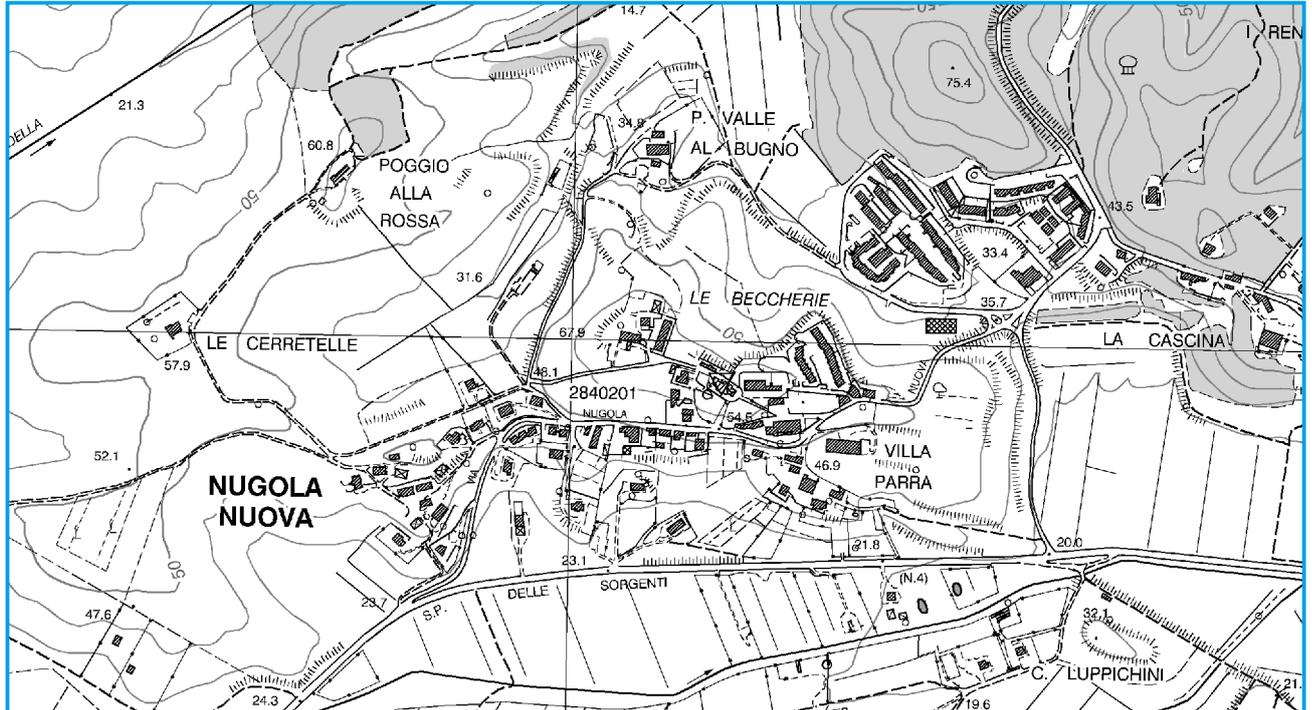


COMUNE DI COLLESALVETTI - PROVINCIA DI LIVORNO



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

RELAZIONE GEOTECNICA - A06

Geol. Mosè Montagnani



Comune di Collesalvetti (LI)

MAGGIO 2023

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 - RELAZIONE GEOTECNICA – A06

1.0 - Premessa

La presente relazione è stata redatta per definire le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litologiche e geotecniche dei terreni ove sono previsti i "Lavori di ripristino del muro di contenimento del giardino storico di Nugola", nel Comune di Collesalveti, su incarico dell'Amministrazione Comunale.

Di seguito vengono illustrati i risultati dello studio svolto in ottemperanza alle D.M. 17.01.18 "Norme tecniche per le Costruzioni", del DPGR 1/R e relativo Allegato 1 - art. 5 Regolamento 1R/2022; trattasi del ripristino di un tratto del muro di contenimento del giardino storico di Nugola, per una lunghezza di circa 17,5 m lineari.

Si fa presente che l'area in esame non è soggetta al Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/1923, L.R. 39/00 - D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.).

Lo studio si è svolto secondo un approccio metodologico che può essere così riassunto:

- ⇒ sono stati acquisiti e consultati gli studi geologici di supporto alla pianificazione territoriale vigente sul territorio comunale di Collesalveti (Piano Strutturale, Regolamento Urbanistico e loro varianti);
- ⇒ sono state analizzate le cartografie della "Perimetrazione delle aree con pericolosità da fenomeni geomorfologici di versante - PAI" e del "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni - PGRA";
- ⇒ è stata eseguita una campagna geognostica nell'area di intervento (prove penetrometriche dinamiche medie e sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati oltre a prove SPT in avanzamento);
- ⇒ è stata eseguita una campagna di indagini geofisica nell'area di intervento (indagini MASW e indagini HVSR);
- ⇒ è stata effettuata una verifica dell'assetto geomorfologico di superficie per individuare eventuali segni di dissesto in atto e/o potenziali, ovvero un rilievo fotografico del muro;
- ⇒ è stato ricostruito il modello geologico e litotecnico del sito, come previsto dalla normativa vigente.

Per la campagna geognostica si è fatto riferimento alle indicazioni del DPGR 1/R del 19 gennaio 2022 (Allegato 1 art.5 Regolamento 1R/2022), considerando il muro di contenimento "un'opera di sostegno a sviluppo lineare" e per questo sono state seguite le indicazioni riportate al paragrafo 3, punto 10 dall'Allegato 1 - art.5 del Regolamento 1R/2022.

I risultati acquisiti attraverso la campagna geognostica eseguita sono commentati ed esposti nella Relazione Geologica; il piano di calpestio di riferimento è quello presente durante l'esecuzione delle indagini; i profili trasversali e longitudinali sono stati ricostruiti sulla base di una livellazione eseguita dal sottoscritto.

Lo studio delle caratteristiche geologiche, litotecniche e sismiche dei terreni è stato effettuato adottando la metodologia appropriata alla complessità dell'intervento. Di seguito riportiamo le indagini eseguite:

- è stata effettuata la verifica dell'assetto geomorfologico dell'area di studio attraverso la quale individuare le forme e gli indici del dissesto (rilievo fotografico del muro di contenimento);
- sono state eseguite quattro prove penetrometriche dinamiche medie (DPM) che hanno raggiunto rispettivamente la seguente profondità: P1 ⇒ 3,3 m dal p.c.; P2 ⇒ 4,9 m dal p.c.; P3 ⇒ 5,7 m dal p.c.; P4 ⇒ 6,9 m dal p.c. (20/02/2023). IMP. Non è stato possibile utilizzare mezzi d'opera più performanti vista le difficoltà logistiche ed operative per accedere al giardino storico con un penetrometro statico/dinamico tipo "Pagani - 200 KN";
- sono stati eseguiti due sondaggi a carotaggio continuo che hanno raggiunto la profondità di 12,0 m dal piano stradale; in ogni sondaggio sono stati prelevati un campione di terreno indisturbato con fustella a pareti sottili tipo "Shelby" ed campione rimaneggiato in sacchetto, sono state eseguite tre prove penetrometriche SPT con punta aperta (15 e 16 marzo 2023);
- i campioni di terreno prelevati sono stati inviati al laboratorio geotecnico "Laboter snc" di Pistoia; sui campioni indisturbati sono state eseguite le seguenti prove: apertura campione, determinazione contenuto acqua, determinazione del peso di volume, limiti di Atterberg, prova di taglio CD, prova espansione laterale libera; sui campioni rimaneggiati la granulometria completa;

- è stata eseguita un'indagine sismica attiva MASW ed un'indagini sismica passiva HVSR (20/02/2023);
- attraverso l'indagine sismica MASW1 ed HVSR1 è stato possibile risalire alla categoria di sottosuolo così come richiesto della NTC'18 (D.M. 17 gennaio 2018).

Attraverso le indagini eseguite è stato possibile valutare le caratteristiche litologiche e litotecniche dei terreni interessati dalle strutture di fondazione del manufatto esistente da ripristinare, nonché acquisire il valore della " V_{seq} ", parametro necessario per determinare la categoria del suolo di fondazione per il calcolo delle azioni sismiche e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico.

L'ubicazione delle indagini eseguite viene ubicata nella planimetria allegata; le prove eseguite unitamente al rilievo geologico effettuato nell'area di intervento ci hanno consentito di poter verificare sia la consistenza che l'omogeneità litologica laterale e verticale dei depositi presenti nell'area di intervento.

Per verificare l'assetto litostratigrafico e litotecnico dei terreni presenti nell'area di intervento sono state realizzate alcune sezioni geologiche (modello geologico e modello geotecnico), utilizzando sia la cartografia tematica che le indagini eseguite.

2.0 - Ubicazione del sito e caratteristiche dell'intervento

L'intervento in oggetto si trova nel centro abitato di Nugola, frazione del Comune di Collesalveti, in un'area pianeggiante alla sommità del promontorio collinare che caratterizza il paesaggio locale.

L'intervento è individuabile come "*Lavori di ripristino del muro di contenimento del giardino storico di Nugola*", visto che lo stesso presenta evidenti dissesti murari (rotazione verso valle dell'opera, rottura in più punti dell'opera muraria, avvallamento/cedimento dei terreni posti a monte dell'opera muraria, presenza di buche in cui si infiltrano le acque superficiali, etc.). È molto probabile che si opti per realizzare un nuovo tratto di opera muraria, almeno quello che si presenta più dissestato.

L'opera muraria delimita la porzione sud del giardino storico che viene individuato dalla "Particella Castale n° 363 del Foglio 63 del Comune di Collesalveti"; i lavori di ripristino del muro interesseranno anche parte della viabilità a valle dello stesso. L'area di intervento rientra nella Sezione 284.020 della CTR scala 1:10.000.

Precisi dati progettuali dell'opera da realizzare saranno sviluppati dall'Ing. Claudio Costanza incaricato dall'Amministrazione Comunale di Collesalveti.

3.0 - Quadro normativo di riferimento

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

- ⇒ L.R. 69/2019 - Disposizioni in materia di governo del territorio. Adeguamenti alla normativa statale in materia di edilizia e di sismica. Modifiche alle leggi regionali 65/2014 , 64/2009 , 5/2010 e 35/2015 ;
- ⇒ Decreto del Presidente della Giunta Regionale, 19 gennaio 2022, n. 1/R - Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014 n. 65 (norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;
- ⇒ Allegato 1 - Art.5 Regolamento 1R/2022 - Linee Guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg. 1R/2022;
- ⇒ Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- ⇒ Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018 - Circolare 11 febbraio 2019;
- ⇒ Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. - Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007;
- ⇒ Eurocodice 8 (1998) - Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture Parte 5: fondazioni, strutture, di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- ⇒ Eurocodice 7.1 (1997) - Progettazione geotecnica - Parte I: Regole generali - UNI
- ⇒ Eurocodice 7.2 (2002) - Progettazione geotecnica - Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio - UNI;

- ⇒ Eurocodice 7.3 (2002) - Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito – UNI;
- ⇒ D.P.C.M. 06/05/2005 - Piano di Bacino del Fiume Arno (P.A.I.) "Stralcio Assetto Idrogeologico";
- ⇒ Norme di Attuazione del Piano Stralcio "Assetto Idrogeologico" (PAI);
- ⇒ Del. C.I. n° 235 del 3 marzo 2016 - Autorità di Bacino del Fiume Arno - Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.);
- ⇒ L.R. 41/R del 01/08/2018 - Disposizioni urgenti in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49;
- ⇒ D.Lgs 10/02/2006 n. 152 - "Norme in materia di Ambiente";
- ⇒ Del. GRT n. 421 del 26/05/2014 - classificazione sismica del territorio regionale;
- ⇒ Strumenti Urbanistici del Comune di Collesalveti (LI).

4.0 - Modello sismo-stratigrafico di riferimento

Per definire le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione del nuovo muro di contenimento è stata eseguita un'indagine geofisica nei pressi nell'area di intervento, ovvero dove è stato possibile eseguire la stesa dei geofoni (non è stato possibile eseguirla alla base del muro vista la presenza della fondazione); sono state eseguite un'indagine sismica MASW ed un'indagine sismica HVSR che ci hanno consentito di ricostruire la distribuzione e l'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo per poter determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (V_s) è stata utilizzata l'indagine sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di superficie da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999).

4.1 - Aspetti sismici ed azioni sismiche

Con l'Ordinanza del P.C.M. N° 3.519 del 28/04/06 e la Delibera di G.R.T. n° 431 del 19/06/06 sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A livello di mappatura macrosismica, l'intero territorio nazionale viene considerato sismico e suddiviso in quattro zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco "ag" su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità), derivante da studi macrosismici e sismotettonici a carattere nazionale.

Il territorio comunale di Collesalveti (LI) è inserito tra i 163 che rientrano nella classe "3" della zona sismica di riferimento, con accelerazione compresa tra 0,125g e 0,150g.

In attuazione ai disposti delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 17.01.2018), la stima della pericolosità sismica viene effettuata con l'approccio "sito-dipendente"; l'azione sismica di progetto viene definita in funzione della pericolosità di base del sito.

L'azione sismica di progetto in base, alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di intervento, quale elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

I caratteri del moto sismico, su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono definite le forme spettrali per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento (P_{VR}): "ag" ⇒ accelerazione massima di sito; "Fo" ⇒ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; "TC*" ⇒ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di "ag" è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, mentre "Fo" e "TC*" sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC'18 approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo del sito ove è previsto l'intervento e della morfologia dell'area ove lo stesso ricade. Per far questo vengono determinati la "categoria di sottosuolo di fondazione" e "coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica".

4.2 - Indagine MASW

Il metodo di indagine MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Sono state eseguite un'indagine sismica MASW ed un'indagine sismica HVSR dalla società "GAIA Servizi srl" di San Giuliano Terme (PI).

4.3 - Categoria di sottosuolo

Per ricostruire il profilo sismo-stratigrafico locale e determinare la categoria di sottosuolo ai fini delle azioni sismiche è stata considerata l'indagine sismica MASW1 e l'HVSR1 realizzate direttamente nell'area di intervento (giardino storico di Nugola); queste ci hanno consentito di caratterizzare l'area di intervento dal punto di vista sismo-stratigrafico.

Attraverso questa indagine è stato possibile ricostruire l'andamento delle velocità delle onde SH dei terreni alluvionali presenti nella zona, e da queste determinare il parametro V_{seq} , necessario alla classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto (Modellazione sismica del suolo - A16).

Con l'indagine sismica MASW1 è stato possibile ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico della zona identificando sette orizzonti sismici nei primi 40 m dal p.c. locale, con miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni con la profondità. L'indagine non ha individuato, per lo spessore indagato, il substrato sismico inteso come "quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec".

Dall'indagine sismica è stato possibile calcolare un valore della V_{seq} riferito al piano di campagna (piano di calpestio del giardino storico) pari a 326 m/sec; in questo contesto specifico il $V_{seq} = V_{s30}$ visto che il substrato inteso come deposito avente una $V_s \geq 800$ m/sec è ben oltre i 30 m di profondità. Considerando la possibile quota del piano di fondazione del nuovo muro di contenimento, è stato possibile calcolare un valore della V_{seq} pari a 400 m/sec. (piano di fondazione -1,2/-1,4 m dal p.c.).

Il valore della V_{seq} calcolato supera di poco quello che separa le classi di suolo sismico "B e C"; quindi, in ragione della metodologia di indagine sismica utilizzata per l'acquisizione dei valori della velocità delle onde SH nei terreni di fondazione (MASW), riteniamo cautelativamente corretto adottare una "Categoria C - 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 della velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/sec; tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato". Il coefficiente di amplificazione stratigrafica " S_s " legato alla "Categoria C" è pari a 1,50 (tabella 3.2.IV).

4.4 - Coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica

Per la verifica della categoria topografia si è fatto riferimento alle indicazioni delle NTC'18 e dall'articolo "Fattore di amplificazione topografica in presenza di scarpate e creste o cocuzzoli" di GeoStru; l'assetto morfologico e topografico nel quale ricade l'area di intervento è assimilabile ad un crinale allungato.

Attraverso la sezione morfologica ricostruita è stato possibile verificare che l'assetto morfologico locale è quello di una "cresta"; sono da considerarsi creste quelle situazioni in cui il dislivello altimetrico minimo "h" è maggiore od uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo "H" e con inclinazione dei versanti α_1 ed α_2 maggiori o uguali a 15°. Nello specifico abbiamo $h = 31$ m, $H = 42$ m, $\alpha_1 = 20^\circ$ ed $\alpha_2 = 25^\circ$, per cui si configura come una "cresta morfologica".

L'assetto morfologico locale è caratterizzato da una larghezza in cresta "l" pari a circa 84,5 m ed una larghezza di base "L" pari a circa 488 m. Questi valori evidenziano una configurazione tipo di "cresta appuntita", ovvero quei rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta "l" molto inferiore rispetto alla larghezza alla base "L" che rispondendo alla seguente relazione: $l < 1/3L$ ($84,5 < 488/3$). Diversamente, una "cresta arrotondata" sarebbe caratterizzata da una larghezza in cresta "l" paragonabile alla larghezza alla base "L" con l'inclinazione $< 10^\circ$ della porzione in cresta, e dovrebbe rispondere alla seguente relazione: $l \geq 1/3 L$.

Ci sono dei valori limite della larghezza in cresta "l", in rapporto all'altezza "H" dei versanti, oltre i quali non siamo più in presenza di una morfologia tipo cresta ma di due singole scarpate per le quali si determinerà il fattore di amplificazione topografica S per la configurazione scarpata.

Nelle situazioni di "cresta appuntita" con $L > 488$ m il valore del fattore di amplificazione topografica, nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 sec, è determinato dalla seguente formula:

$$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{1,11 \cdot H/L}$$

dove $H \Rightarrow$ all'altezza massima dei versanti ed $L \Rightarrow$ la larghezza alla base del promontorio collinare.

Il valore di $S_{T(0,1-0,5s)}$ determinato andrà assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta "l", mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

Nel caso specifico, visto che il manufatto in progetto si trova nei pressi del culmine della cresta con $L = 488$ m ed $H = 42$ m, il valore calcolato di $S_{T(0,1-0,5s)} = e^{1,11 \cdot H/L} = 1, \cong 1,10$; questo conferma che l'area di intervento rientra nella "Categoria Topografica T3", ovvero "Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ". Pertanto, ai sensi delle NTC'18 la categoria topografica è la "T3" (Tabella 3.2.III); il valore del coefficiente di amplificazione topografica è pari al massimo previsto per questa categoria: **S_T sarà pari a 1,2** (Tabella 3.2.V).

Nel caso specifico per la verifica sismica si dovrà considerare per i terreni di fondazione una "Categoria di sottosuolo C" da cui un coefficiente di amplificazione stratigrafica **S_s = 1,5** e per l'assetto morfologico una categoria topografica "T3", dalla quale deriva per quanto sopra indicato un coefficiente di amplificazione topografica S_T = 1,2.

Da qui si ottiene il coefficiente "S" che tiene conto dell'amplificazione stratigrafica e topografica mediante la seguente relazione "**S = S_s x S_T = 1,8**", dove "S_s" il coefficiente di amplificazione stratigrafica e "S_T" il coefficiente di amplificazione topografica.

5.0 - Volume geotecnico significativo

Il volume geotecnico significativo non è una misura standard dipendente unicamente dal tipo di opera progettuale, ma interessa una porzione di spazio occupato dai terreni direttamente interessati dalle variazioni di tensione per effetto delle azioni che agiscono in superficie; ovvero, corrisponde alla profondità in cui gli incrementi per le sollecitazioni esercitate dai carichi applicati in superficie si possono considerare trascurabili.

Il volume significativo viene anche definito come quella parte del sottosuolo che è influenzata dalla costruzione dell'opera e che, per contro, influenza il comportamento dell'opera stessa. In volume geotecnico significativo ha perciò dimensioni diverse in relazione all'opera o allo studio di interesse e al contesto geologico, territoriale e ambientale in cui si inserisce.

Solo a titolo indicativo, si può fare riferimento alle norme AGI del 1997 dalle quali si evince che il volume significativo viene delimitato in base alla problematica, ovvero per le fondazioni l'indagine deve essere estesa fino a quando si registrano variazioni significative dello stato tensionale. Gli schemi proposti sono solo di carattere indicativo per i casi più semplici e che non costituiscono affatto una regola generale; infatti, qualora si avessero degli strati superficiale particolarmente competenti, le indicazioni della norma AGI 1997 non sono più applicabili.

Un altro modo per definire il volume geotecnico significativo da indagare con le indagini è quello di considerare oltre alle dimensioni delle strutture di fondazione anche le pressioni applicate con le stesse al terreno.

Per l'opera in progetto sono state eseguite sei verticali di indagine, n° 4 prove penetrometriche dinamiche medie e n° 2 sondaggi a carotaggio continuo; questi ultimi hanno raggiunto la profondità di 12,0 m dal piano stradale, ovvero dalla base del muro lesionato.

Si prevede un muro a mensola in CA la cui fondazione è prevista a -1,2 m dal p.c. (riferimento sondaggio S2), con una larghezza della fondazione/mensola di circa 2,5 m da fondare nell'orizzonte "A - Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone avana, da consistente a molto consistente". La

struttura di fondazione prevista è di tipo superficiale continua, ovvero una mensola di fondazione dalla quale si innalzerà il paramento murario verticale per almeno 3,5 m dal piano di fondazione.

La geometria della nuova struttura muraria verrà progettata dall'Ing. Claudio Costanza incaricato dall'Amministrazione Comunale di Collesalveti; in questa sede è stato ipotizzato un muro a mensola in CA, con una piatta-banda larga 2,5 m dalla quale si innalza il paramento murario per 3,5 m dal piano di fondazione.

La verticale di riferimento è il sondaggio S2 che ha raggiunto la profondità di -12,0 m dal p.c.; il piano di fondazione è stato individuato alla profondità $D = -1,2$ m dal p.c. locale, ovvero oltre il pacchetto carrabile (asfalto, sottofondo, fondazione stradale e materiale in posto rimaneggiato).

La profondità d'indagine sotto il piano di fondazione è di 10,8 m ($D = -1,2$ m dal p.c.).

Il volume geotecnico significativo di fondazione deve rispettare la seguente relazione \Rightarrow la profondità di indagine sotto il p.d.f. deve essere 0,75-1,5 volte la larghezza "B" dell'opera di fondazione; nel caso specifico abbiamo: "Larghezza B" della mensola di fondazione pari a 2,5 m \Rightarrow la relazione suddetta può considerarsi rispettata $\Rightarrow 10,8/2,5 \cong 4,32$ volte B;

Il volume geotecnico significativo a monte dell'opera di contenimento deve rispettare la seguente relazione \Rightarrow la profondità di indagine verso monte "L" deve essere 2,0 volte l'altezza "H" del muro dal piano stradale; nel caso specifico abbiamo: "l'altezza H" pari a 2,5 m \Rightarrow la relazione suddetta può considerarsi rispettata $\Rightarrow 5,0/2,5 \cong 2,0$ volte H;

L'indagine eseguita ha indagato il volume geotecnico significativo dell'opera in progetto.

6.7 - Modello geologico di riferimento - Analisi geologico-stratigrafica dell'area di intervento

L'indagine eseguita ci ha consentito di appurare la presenza dei depositi pliocenici della "Formazione delle Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe" individuati anche come "Sabbie gialle (p3)", Pliocene Inferiore e Medio. Si presentano in banchi, hanno una granulometria medio-fine, grado di addensamento variabile da sciolto a talora cementato, sono intercalate da strati arenacei o calcareo-arenacei o argillosi. Affiorano in tre corpi sedimentari principali intercalati alle Argille azzurre ed al tetto a queste si sostituiscono in concordanza stratigrafica ma in modo abbastanza netto ed evidente nonostante le argille mostrino componente sabbiosa e limosa abbondante.

Analizzando i dati acquisiti nel contesto geologico-stratigrafico locale è possibile affermare che esiste una buona omogeneità litologica laterale e verticale in condizioni non antropizzate, ove le minime differenze sono ascrivibili al sistema deposizionale di origine (modello geologico generale). Il piano di riferimento indicato è quello del suolo al momento dell'esecuzione delle indagini (20 febbraio e 15-16 marzo 2023).

Per l'intervento previsto è stato redatto il "profilo geologico di riferimento" con indicazioni geotecniche attraverso il quale passare al "modello geotecnico di esercizio" quale elemento indispensabile nelle verifiche "opera /terreno" ai sensi delle NTC'18.

Dall'analisi dei dati acquisiti è stato possibile formulare le seguenti considerazioni:

- nel giardino è presente uno spessore variabile di terreni/materiali da riempimento storico, posti in opera dopo la realizzazione del muro di contenimento oggi dissestato, che sono stati disposti sui terreni naturali/antropizzati (area urbana);
- l'indagine eseguita lungo la viabilità ha attraversato il pacchetto carrabile composto da asfalto e sottofondo granulare compattato (macerie edilizie, ciottoli, etc.), fino alla profondità compresa tra 0,4 e 0,8 m dal p.c.;
- al di sotto dell'orizzonte antropico sono presenti depositi della "Formazione delle Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe" individuata anche come "Sabbie gialle (p3)" (Pliocene Inferiore e Medio), che nell'area di intervento sono risultati di composizione prevalentemente limo-argillosa e limo argillo-sabbiosa;
- in ragione dell'ipotesi progettuale avanzata (muro con fondazione superficiale continua a mensola), è possibile considerare il comportamento geotecnico dei depositi interessati dalle strutture di fondazione coesivo; si tratta di limi argillosi debolmente sabbiosi consistenti come meglio indicato nel modello geologico e geotecnico di riferimento;
- l'orizzonte limo-sabbioso individuato con la sigla "C" è mediamente addensato;
- l'assetto litostratigrafico dell'area di intervento viene schematizzato attraverso alcune sezioni, trasversali e parallele all'opera muraria, che definiscono il modello geologico e geotecnico;

- ipotizzando una mensola di fondazione con una larghezza "B" compresa tra 1,5 e 2,5 m, è possibile affermare che le indagini eseguite sono state sufficienti per definire il volume geotecnico significativo della struttura di fondazione (profondità di indagine "D" da indagare = $0,75 \div 1,5 B$);
- il piano di campagna indicato si riferisce alla situazione presente al momento dell'esecuzione delle indagini, ovvero il 20/02/23 e 15-16/03/2023.

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione del manufatto in oggetto è stato redatto un profilo geologico e geotecnico unico utilizzando le prove eseguite.

6.5 - Analisi geologico-stratigrafica dei dati acquisiti

L'analisi congiunta delle indagini eseguite ed acquisite ci consente di indicare la presenza nell'area di una successione litostratigrafica naturale di composizione prevalentemente limo-argillosa e limo argillo-sabbiosa con alternati orizzonti di sabbie limose ("Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe"); questa successione litologica rappresenta il volume di terreno interessato dalle strutture di fondazione del manufatto in progetto. Al di sopra della successione pliocenica è presente uno spessore variabile di materiale di riporto/riempimento, specialmente a monte del muro nel giardino storico.

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

| Profondità | Descrizione del litotipo |
|-------------------|--|
| 0,0-0,4 | MR – Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale; |
| 0,4-1,5 | A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. \Rightarrow 1,75-2,0 Kg/cm ² ; |
| 1,5-4,5 | B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. \Rightarrow 1,5-2,0 Kg/cm ² ; SPT1 tra 3,0 e 3,45 \Rightarrow N = 3/7/9 |
| 4,5-6,1 | C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato; |
| 6,1-12,0 | D – Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. \Rightarrow 2,0-2,5 Kg/cm ² ; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. \Rightarrow N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. \Rightarrow N = 5/10/14; |

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a - 10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

L'andamento geologico-stratigrafico degli orizzonti individuati viene evidenziato con la sezione ricostruita "S1 - S2" e le prove DPM proiettate.

6.6 - Modello geotecnico dei terreni di fondazione

Per consentire lo svolgimento delle verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE), di seguito verranno schematizzati, partendo dai parametri geotecnici nominali, i *parametri geotecnici caratteristici* (k) necessari per giungere alla definizione dei parametri di progetto (d).

Di seguito vengono schematizzati dal punto di vista geotecnico i terreni di fondazione relativamente all'intervento in oggetto, considerando l'uso di una struttura di fondazione superficiale continua (mensola di fondazione): *parametri caratteristici* (k)

Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2_{mar'23}

| Profondità | Strat. | γ | Cu | φ_p | φ_{vc} | C' | φ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | v |
|------------|--------|----------|-----|-------------|----------------|------|------------|----|-----|-----------------|------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-0,4 | MR | 17,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,4-1,5 | A | 18,9 | - | 27,5 | 24,1 | 5 | 26,0 | 22 | - | 12,2 | 14,3 | 0,279 |
| 1,5-4,5 | B | 19,7 | 90 | - | - | 19,7 | 27,5 | - | 6,0 | - | 7,8 | 0,45 |
| 4,5-6,1 | C | 20,5 | - | 35,5 | 30,7 | 5 | 30,0 | 50 | - | 14,6 | 20,6 | 0,283 |
| 6,1-12,0 | D | 20,7 | 125 | - | - | 20,0 | 26,0 | - | 6,0 | - | 12,5 | 0,45 |

γ \Rightarrow peso di volume; Cu \Rightarrow coesione non drenata; φ_p \Rightarrow angolo di resistenza al taglio di picco; φ_{vc} \Rightarrow angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr \Rightarrow densità relativa; OCR \Rightarrow grado di sovra-consolidazione; E₂₅ \Rightarrow modulo di elasticità operativo (Young); M \Rightarrow modulo di deformabilità; v \Rightarrow coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; Φ' = angolo di resistenza al taglio drenato.

7.1 -Caratteristiche dell'intervento in progetto - ipotesi costruttiva

Il progetto prevede la sostituzione di una porzione di muro che delimita parte del giardino storico di Nugola; è possibile ipotizzare la realizzazione di un muro in CA con fondazione a mensola la cui altezza può variare tra 3,3 e 3,5 m dal piano stradale (situazione attuale).

La realizzazione del nuovo muro a mensola: lavorazioni previste.

- A) La demolizione del paramento murario esistente e delle sue strutture di fondazione;
- B) Lo sbancamento del materiale tra la viabilità ed il giardino per realizzare l'area di lavoro sicura (sbancamento con scarpata singola o doppia, con inclinazione media inferiore ai 60°);
- C) La realizzazione del piano di fondazione rispettando le geometrie del progetto esecutivo, scegliendo la quota corretta a sostenere l'opera, ovvero che le verifiche ai sensi delle NTC'18 siano positive;
- D) La realizzazione della struttura di fondazione del muro a mensola in CA la cui larghezza può variare tra 2,0 e 3,0 m; la geometria definitiva dell'opera sarà indicata nel progetto strutturale esecutivo redatto dall'Ing. Claudio Costanza (*);
- E) La realizzazione del paramento murario verticale in CA che si innalzerà dalla mensola di fondazione secondo la geometria indicata dall'Ing. Claudio Costanza (*);
- F) La geometria del muro e le sue dimensioni saranno riportate nel progetto strutturale esecutivo redatto dall'Ing. Claudio Costanza:
 - muro in CA con mensola di fondazione avente uno spessore di 0,3 m e paramento verticale di spessore pari a 0,25/0,30 m;
 - se necessari possono essere previsti dei contrafforti murari lato monte per rinforzare la struttura;
 - il paramento verticale sarà provvisto di fori passanti in numero e distribuzione tale da eliminare l'accumulo di acque a monte dello stesso;
 - la porzione del muro in CA lato strada dovrà essere rivestita o intonacata adottando la metodologia più consona al rispetto paesaggistico dei luoghi;
- G) Nello spazio compreso tra il muro e la scarpata (punto B) dovranno essere poste delle opere di drenaggio per captare ed allontanare le acque sotterranee per evitare le sovrappressioni sull'opera muraria. Sono previsti: a) dei tubi di drenaggio sul fondo; b) riempimento con materiale granulare drenate di opportuna pezzatura; c) il posizionamento di un telo di separazione tra la scarpata ed il drenaggio per evitare l'intasamento di questo ultimo; e) il riempimento con materiale naturale di chiusura attraverso il quale si dovrà impermeabilizzare la porzione pianeggiante del giardino;
- H) Per evitare che le acque superficiali si infiltrino nel sottosuolo e nel corpo drenate, sarà opportuno realizzare un sistema di raccolta e smaltimento delle acque superficiali verso la pubblica fognatura;
- I) Precisi dati progettuali sono riportati nelle tavole redatte dallo studio dell'Ing. Claudio Costanza.

(*) Perché non si creino situazioni di *sbarramento* del naturale deflusso delle acque sotterranee da monte verso valle, sarà opportuno non creare un effetto barriera con la realizzazione delle opere di contenimento e sostegno (palificata di fondazione e muro di contenimento). Per questo le opere suddette verranno posizionate in maniera da risultare permeabili da monte verso valle, ovvero i singoli elementi verranno posizionati sul versante ad una distanza tale da garantire il deflusso delle acque sotterranee verso valle; si attua lasciando del terreno naturale tra i micropali di fondazione.

7.2 - Considerazioni tecniche sulla realizzazione del manufatto in progetto

La realizzazione del manufatto è prevista in una zona collinare ove al di sotto dell'orizzonte superficiale di riporto è presente, fino alla profondità massima indagata, una successione litostratigrafica di composizione prevalentemente limo- argillosa e limo argillo-sabbiosa appartenente alla Formazione delle "Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe"),

È importante sottolineare che l'assetto litologico e litotecnico previsto nella zona di intervento è tale da condizionare se non altro la scelta delle dimensioni delle strutture di fondazione in virtù della necessità di verificare i calcoli di resistenza agli SLU (portanza) e di efficienza agli SLE (cedimenti), secondo un criterio prestazionale (NTC'18).

Vista la tipologia e le dimensioni del manufatto in progetto, si ritiene valido l'uso di fondazioni superficiali continue (mensola), in accordo con il progettista delle strutture. A prescindere dalle dimensioni della fondazione scelta, questa dovrà essere posta ad una quota di almeno -1,2 m dal p.c. locale (riferimento Sondaggio S2), di fatto su terreni naturali non alterati e/o antropizzati.

L'area di intervento è disposta su due piani distinti, il piano stradale ed il piano giardino, tra i due c'è un dislivello medio di circa 2,3 m; gli scavi previsti sono quelli relativi alla preparazione del cantiere per realizzare la nuova opera muraria (demolizione del manufatto esistente, sbancamento lato monte, scavo per la struttura di fondazione, scavi per le condotte fognarie in genere).

Il livello piezometrico nella prova P2 a -3,63 m dal p.c. (02/03/2023) e nel piezometro S2-Pz a -10,30 m dal p.c.; il primo può ritenersi una sorta di falda sospesa alimentata localmente dall'infiltrazione delle acque meteoriche nell'area del giardino; questo impone la realizzazione di una struttura drenata a monte del nuovo muro per evitare sovrappressioni sul paramento murario.

L'analisi dei dati acquisiti evidenzia che è prevedibile una certa stabilità dei fronti di scavo, nelle condizioni suddette (inclinazione minore di 60°), con una scarpata alta circa 2,3 m dal piano stradale; è comunque opportuno procedere con estrema cautela in modo da non alterare le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, soprattutto nell'ottica di preservare i manufatti esistenti e quelli da realizzare.

Sulla base dei risultati ottenuti il progettista strutturale potrà scegliere le modalità ed i tempi per effettuare le operazioni di scavo e realizzazione delle opere di fondazione.

È comunque opportuno prendere in considerazione il fatto che i terreni oggi consistenti potrebbero perdere le proprie caratteristiche geomeccaniche nel caso di infiltrazioni e/o perdite degli impianti per il trasporto e lo stoccaggio di fluidi (acque potabili, scarichi civili, acque meteoriche, deposito di compensazione, etc.) o anche accidentali, inficiando le valutazioni effettuate sui parametri geotecnici dei terreni di fondazione e di conseguenza sui calcoli e sulle valutazioni effettuate in termini di stabilità fronte di scavo/opera e capacità portante.

8.0 - Verifica della stabilità globale del muro

Il dimensionamento dell'opera di sostegno così come le relative verifiche sono riportati nella documentazione tecnica redatta dall'Ing. Claudio Costanza.

Per accertare la stabilità globale dell'opera di sostegno sono state effettuate le verifiche di stabilità globale nelle condizioni di progetto in condizioni statiche e sismiche. La verifica è stata eseguita lungo la sezione più critica.

Con l'entrata in vigore delle NTC'18 le verifiche di stabilità delle opere di sostegno viene condotta agli stati limite ultimi, tenendo in conto dei coefficienti parziali di sicurezza per le azioni (γ_F), per i parametri geotecnici (γ_M), e per le resistenze (γ_R). In ogni caso occorre che sia sempre rispettata la condizione:

$$R_d \geq E_d \text{ oppure che } R_d / E_d \geq 1,1-1,4$$

Per i muri la verifica stabilità globale viene condotta secondo le NTC'18 utilizzando i parametri di resistenza meccanici caratteristici (c_k , ϕ_k), e quindi ponendo i coefficienti parziali dei materiali " γ_M ", ovvero secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2). In ogni caso il coefficiente di sicurezza di resistenza minimo deve essere scelto e motivato dal professionista, in relazione al livello di affidabilità dei dati acquisiti ed al modello di calcolo utilizzato.

I calcoli sono stati eseguiti con il programma di calcolo "MURI ver. 3.0 della società PROGRAM GEO licenza d'uso annuale 2022-2023" di cui vien fornito il manuale utente.

In questa sezione del Manuale Utente vengono presentate in breve le nozioni teoriche sulle quali si basa il programma. Gli argomenti trattati sono i seguenti:

1. calcolo del coefficiente di spinta attiva e passiva del terreno;
2. calcolo della spinta attiva e passiva totale delle terre;
3. calcolo del carico d'esercizio di un tirante;
4. verifiche di stabilità del muro;
5. verifica di stabilità dell'insieme muro-terreno.

Sono stati inserite le caratteristiche geometriche dell'opera nelle due ipotesi progettuali e la successione lito-stratigrafica con i relativi parametri geotecnici, seguendo le indicazioni del progettista strutturale che le ha usate per effettuare le verifiche dell'opera.

Nelle due condizioni considerate, statica e sismica, la verifica di stabilità globale secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (DA1-2), così come quella eseguita secondo l'Approccio 2, ha dato valori dei coefficienti di sicurezza superiori al minimo previsto. In allegato si riportano le tabelle ed i grafici dei risultati di calcolo.

Allegati:

Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche eseguite (febbraio-marzo 2023);

Modello geologico locale: P4-S1 e P3-S2 con parametri geotecnici nominali, 1:100;

Modello geologico locale: P4-P3-P2-P1 (piano calpestio giardino), 1:100;

Modello geologico locale con parametri geotecnici nominali: P4-P3-P2-P1 (riferimento prove piano calpestio giardino), 1:100;

Modello geologico locale: S1-S2 (piano stradale), 1:100;

Modello geologico e geotecnico di riferimento con parametri geotecnici caratteristici, 1:100;

Verifica stabilità globale del muro a mensola:

Condizione drenata - combinazione fondamentale - DA1-2;

Condizione drenata - combinazione fondamentale - DA2;

Condizione drenata - combinazione sismica - DA1-2;

Condizione drenata - combinazione sismica - DA2.

Terricciola, 11 maggio 2023

Geol. Mosè Montagnani



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

Mosè Montagnani
GEOLOGO

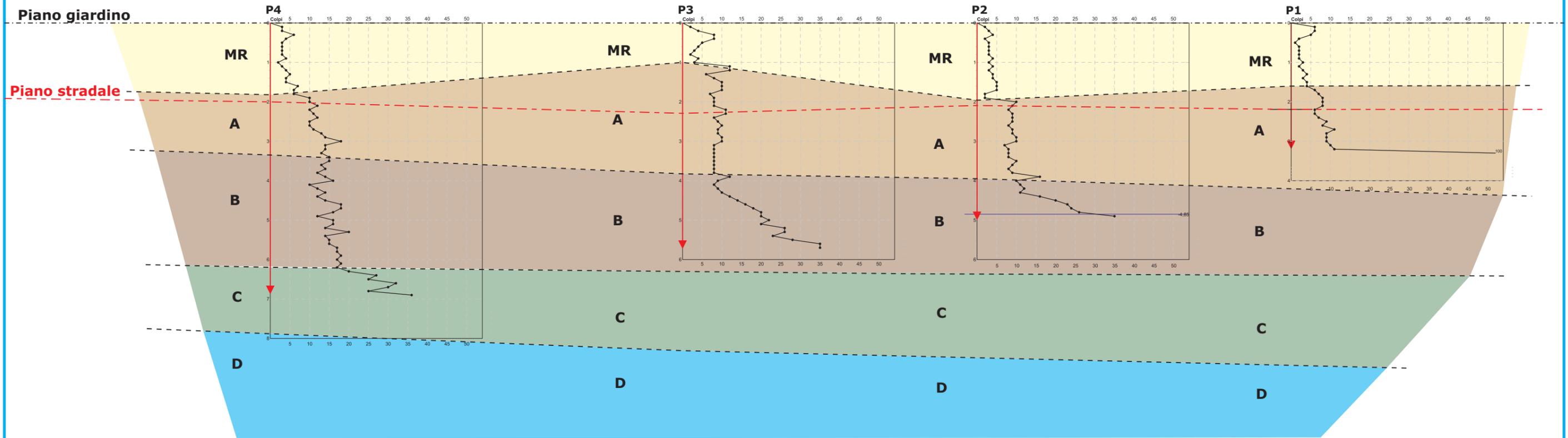
**Ubicazione delle indagini geognostiche
e sismiche eseguite (febbraio-marzo 2023)**

Maggio 2023



Modello geologico locale: P4-P3-P2-P1
(piano calpestio giardino)
(1:100)

Colmo muro



Profilo stratigrafico longitudinale (piano di calpestio giardino)

Prova P1

0,0-1,6 m p.c. MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento (N10 = 2-4; NSPT = 1);
1,6-3,3 m p.c. A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente (N10 = 8-10; NSPT = 5);
3,3 m p.c. Rifiuto strumentale avanzamento;
nel foro lasciato dalla prova penetrometrica non è stato possibile misurare il livello piezometrico (foro chiuso a -0,4 m dal p.c. (20/02/2023).

Prova P2

0,0-1,9 m p.c. MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento (N10 = 2-4; NSPT = 2);
1,9-3,8 m p.c. A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente (N10 = 8-10; NSPT = 6);
3,8-4,9 m p.c. B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, da consistente a molto consistente (N10 = 10-26; NSPT = 9-18);
Nel foro lasciato dalla prova penetrometrica è stato possibile misurare il livello piezometrico a - 4,85 m dal p.c. (20/02/2023), -3,63 m dal p.c. (02/03/2023); foro attrezzato con tubo piezometrico;

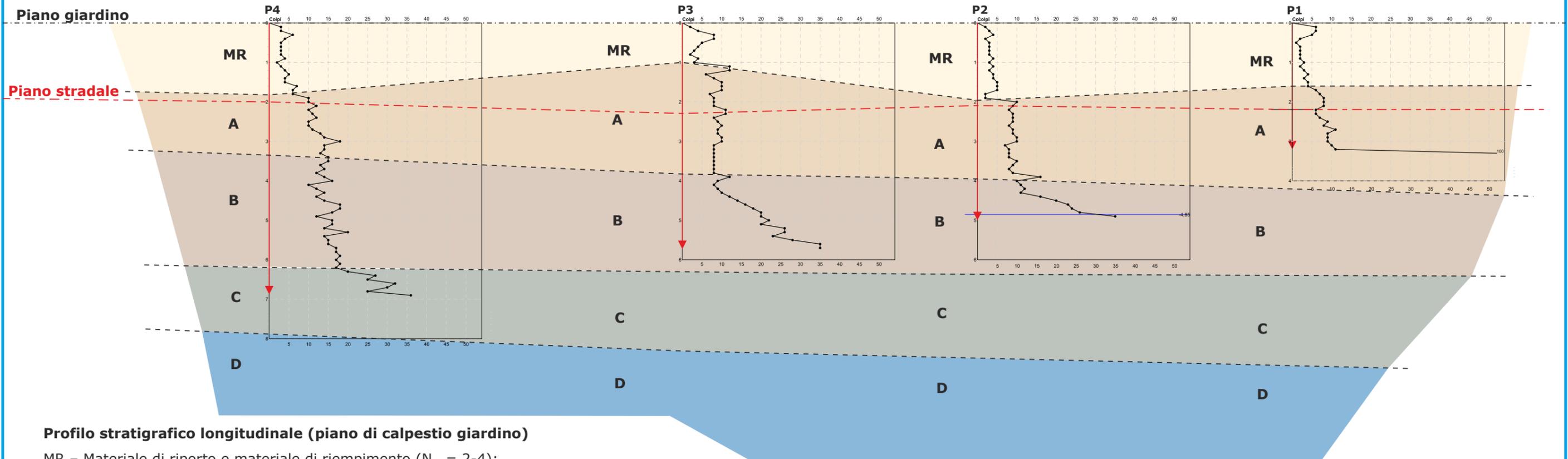
Prova P3

0,0-1,0 m p.c. MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento (N10 = 3-4; NSPT = 2);
1,0-3,8 m p.c. A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente (N10 = 8-10; NSPT = 6-8).
3,8-5,7 m p.c. B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, da consistente a molto consistente (N10 = 10-28; NSPT = 8-20);
nel foro lasciato dalla prova penetrometrica non è stato possibile misurare il livello piezometrico (foro asciutto e chiuso a -5,70 m dal p.c. (20/02/2023); foro attrezzato con tubo piezometrico;

Prova P4

0,0-1,8 m p.c. MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento (N10 = 3-4; NSPT = 2);
1,8-3,3 m p.c. A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente (N10 = 10-14; NSPT = 8-10).
3,3-6,2 m p.c. B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente (N10 = 14-17; NSPT = 8-14);
6,2-6,9 m p.c. C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato (N10 = 20-35; NSPT = 18-24).
nel foro lasciato dalla prova penetrometrica non è stato possibile misurare il livello piezometrico (foro asciutto e chiuso a -6,70 m dal p.c. (20/02/2023);

Colmo muro



Profilo stratigrafico longitudinale (piano di calpestio giardino)

- MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento ($N_{10} = 2-4$);
- A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente ($N_{10} = 8-14$);
- B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente ($N_{10} = 10-26$);
- C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato ($N_{10} = 20-35$).

Schematizzazione litotecnica - prove penetrometriche dinamiche medie (parametri geotecnici nominali)

Prova P1_{mar'23}

| Profondità | Strat. | | Cu | p | vc | C' | ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | |
|------------|--------|-----------|-----|-----------|-----------|-----|------|-------|-----|-----------------|------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-1,6 | MR | 18,0-18,1 | - | 26,0-27,0 | 23,5-23,8 | 5 | 25,0 | 10 | - | 9,0 | 11,0 | 0,274 |
| 1,6-3,3 | A | 18,3-18,6 | - | 27,0-28,0 | 24,0-24,2 | 5 | 26,0 | 22-23 | - | 12,0 | 14,0 | 0,280 |

Prova P2_{mar'23}

| Profondità | Strat. | | Cu | p | vc | C' | ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | |
|------------|--------|-----------|-------|-----------|-----------|------|------|-------|-----|-----------------|---------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-1,9 | MR | 18,0-18,1 | - | 26,0-27,0 | 23,5-23,8 | 5 | 25,0 | 10 | - | 9,0 | 11,0 | 0,274 |
| 1,9-3,8 | A | 18,3-18,6 | - | 27,0-28,0 | 24,0-24,2 | 5 | 26,0 | 22-23 | - | 12,0 | 14,0 | 0,280 |
| 3,8-4,9 | B | 19,3-19,5 | 65-80 | - | - | 24,0 | 25,5 | - | 6,0 | - | 6,0-7,0 | 0,45 |

Prova P3_{mar'23}

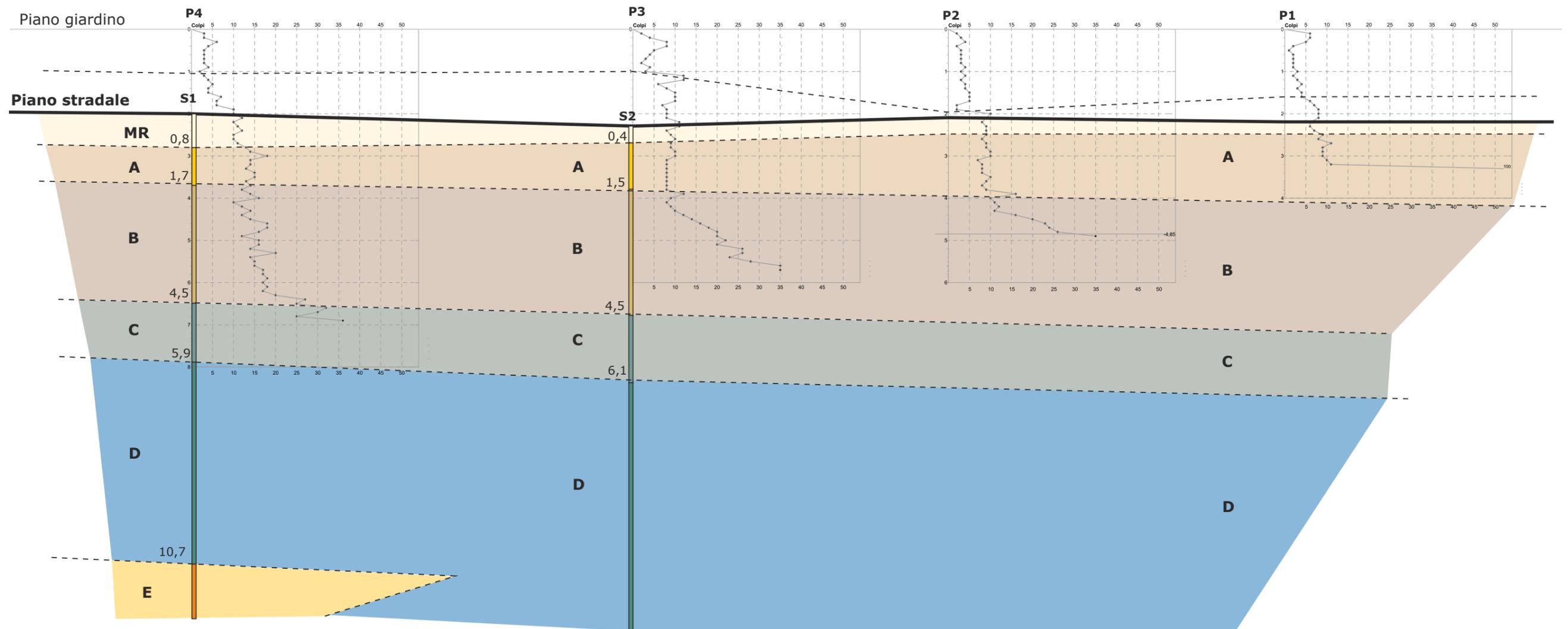
| Profondità | Strat. | | Cu | p | vc | C' | ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | |
|------------|--------|-----------|-------|-----------|-----------|------|------|-------|-----|-----------------|---------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-1,0 | MR | 18,3-18,5 | - | 26,5-27,5 | 24,0-24,2 | 5 | 25,0 | 15 | - | 10,0 | 12,0 | 0,278 |
| 1,0-3,8 | A | 18,3-18,6 | - | 27,0-28,0 | 24,0-24,2 | 5 | 26,0 | 22-23 | - | 12,0 | 14,0 | 0,280 |
| 3,8-5,7 | B | 19,3-19,5 | 65-80 | - | - | 24,0 | 25,5 | - | 6,0 | - | 6,0-7,0 | 0,45 |

Prova P4_{mar'23}

| Profondità | Strat. | | Cu | p | vc | C' | ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | |
|------------|--------|-----------|-------|-----------|-----------|------|------|-------|-----|-----------------|---------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-1,8 | MR | 18,3-18,5 | - | 26,5-27,5 | 24,0-24,2 | 5 | 25,0 | 15 | - | 10,0 | 12,0 | 0,278 |
| 1,8-3,3 | A | 18,7-18,9 | - | 27,5-28,5 | 24,5-24,8 | 5 | 26,0 | 22-23 | - | 12,0 | 14,0 | 0,280 |
| 3,3-6,2 | B | 19,3-19,5 | 70-80 | - | - | 24,1 | 25,7 | - | 6,0 | - | 6,0-7,0 | 0,45 |
| 6,2-6,9 | C | 20,5-20,6 | - | 35,0-36,0 | 27,5-28,2 | 5 | 28,0 | 47-52 | - | 14,4 | 20,6 | 0,283 |

peso di volume; Cu coesione non drenata; p angolo di resistenza al taglio o di picco; vc angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E₂₅ modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità; coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; ' = angolo di resistenza al taglio drenato. (* - I parametri drenati sono stati ricavati facendo riferimento a dati tabellati di terreni equivalenti a quelli presenti nel sito d'indagine dal manuale "Prove geotecniche in situ" di Alberto Bruschi, Dario Flaccovio Editore, e dal "Manuale del Geotecnico" di Maurizio Tanzini, Dario Flaccovio Editore).

Modello geologico locale: S1-S2
(piano stradale)



Profilo stratigrafico longitudinale (piano stradale)

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione e del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

| Profondità | Descrizione del litotipo |
|------------|--|
| 0,0-0,4 | MR - Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale; |
| 0,4-1,5 | A - Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,75-2,0 Kg/cm ^q ; |
| 1,5-4,5 | B - Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,5-2,0 Kg/cm ^q ; SPT1 tra 3,0 e 3,45 N = 3/7/9 |
| 4,5-6,1 | C - Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato; |
| 6,1-12,0 | D - Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. 2,0-2,5 Kg/cm ^q ; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. N = 5/10/14; |

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

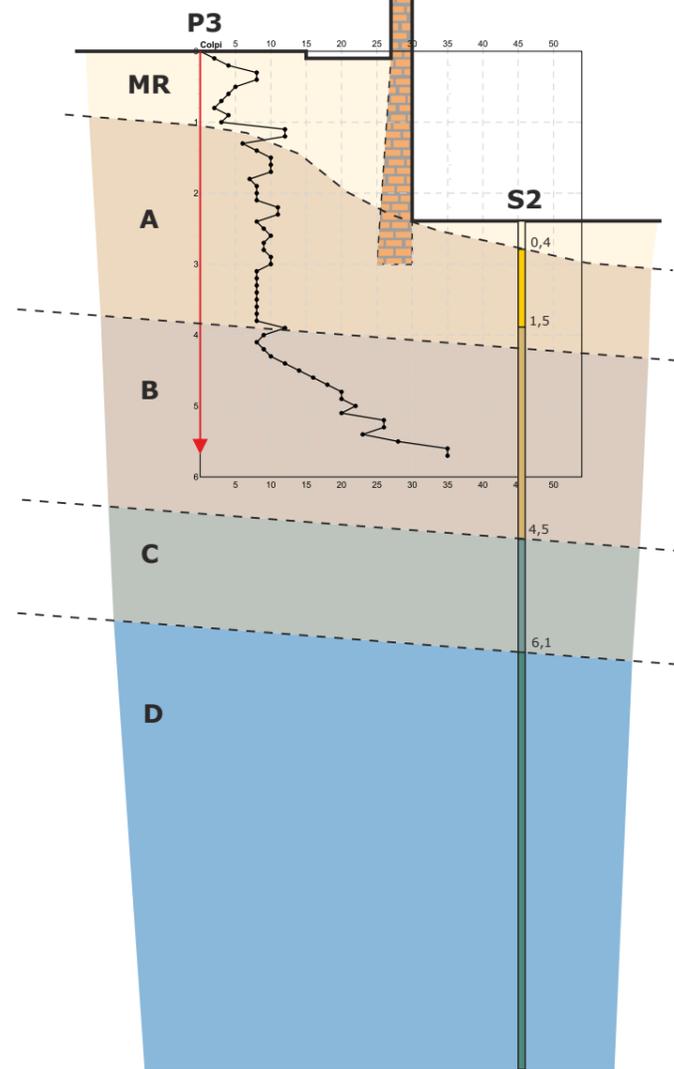
Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2_{mar'23}

| Profondità m dal p.c. | Strat. | Cu kN/mc | Cu kPa | ρ ° | ρ_c ° | C' KPa | ρ' ° | Dr % | OCR - | E ₂₅ Mpa | M Mpa | - |
|--------------------------|--------|-------------|-----------|-------------|---------------|-----------|--------------|---------|----------|------------------------|----------|-------|
| 0,0-0,4 | MR | 17,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,4-1,5 | A | 18,9 | - | 27,5 | 24,1 | 5 | 26,0 | 22 | - | 12,2 | 14,3 | 0,279 |
| 1,5-4,5 | B | 19,7 | 90 | - | - | 19,7 | 27,5 | - | 6,0 | - | 7,8 | 0,45 |
| 4,5-6,1 | C | 20,5 | - | 35,5 | 30,7 | 5 | 30,0 | 50 | - | 14,6 | 20,6 | 0,283 |
| 6,1-12,0 | D | 20,7 | 125 | - | - | 20,0 | 26,0 | - | 6,0 | - | 12,5 | 0,45 |

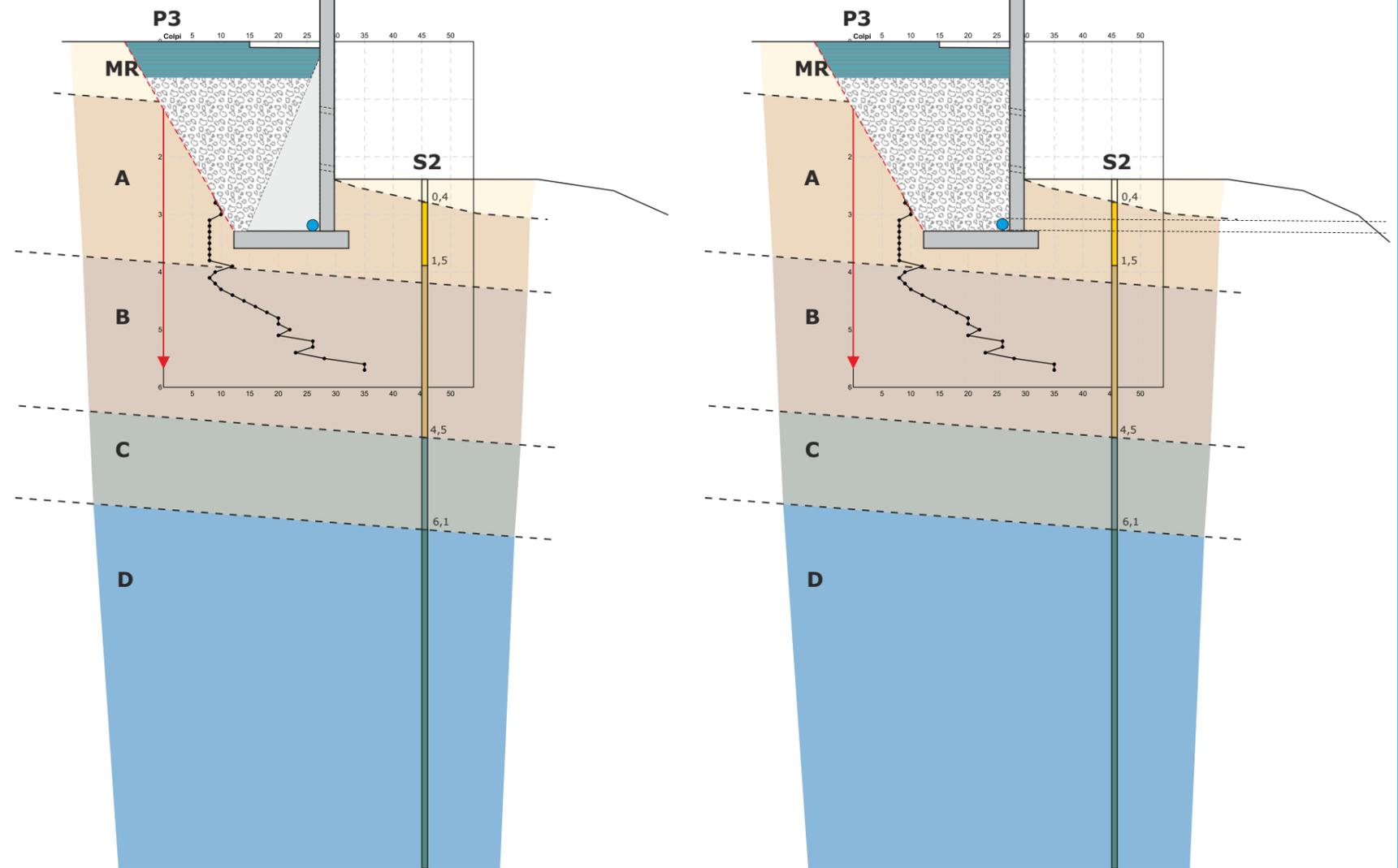
ρ peso di volume; Cu coesione non drenata; ρ angolo di resistenza al taglio di picco; ρ_c angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E₂₅ modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità; ρ' coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; ρ' = angolo di resistenza al taglio drenato.

Modello geologico e geotecnico di riferimento
con parametri geotecnici caratteristici
(1:100)

Schema stato attuale



Schema progettuale



Profilo stratigrafico trasversale (piano stradale)

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione e del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

| Profondità | Descrizione del litotipo |
|------------|---|
| 0,0-0,4 | MR - Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale; |
| 0,4-1,5 | A - Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,75-2,0 Kg/cmq; |
| 1,5-4,5 | B - Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,5-2,0 Kg/cmq; SPT1 tra 3,0 e 3,45 N = 3/7/9 |
| 4,5-6,1 | C - Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato; |
| 6,1-12,0 | D - Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. 2,0-2,5 Kg/cmq; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. N = 5/10/14; |

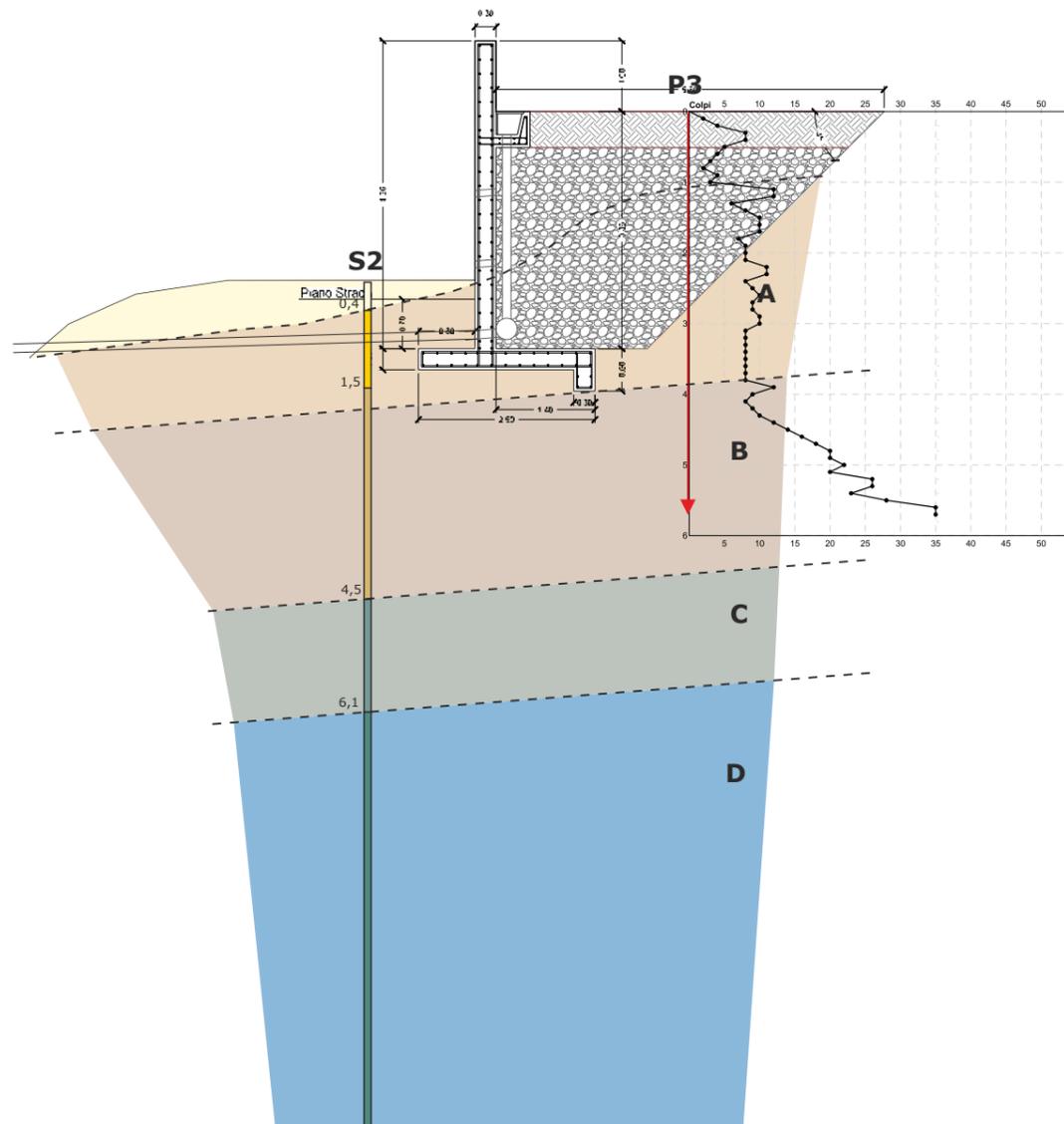
Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2_{mar'23}

| Profondità m dal p.c. | Strat. | | Cu kPa | ρ ° | ν_c ° | C' KPa | ν' ° | Dr % | OCR - | E ₂₅ Mpa | M Mpa | |
|--------------------------|--------|------|-----------|-------------|--------------|-----------|-------------|---------|----------|------------------------|----------|-------|
| 0,0-0,4 | MR | 17,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,4-1,5 | A | 18,9 | - | 27,5 | 24,1 | 5 | 26,0 | 22 | - | 12,2 | 14,3 | 0,279 |
| 1,5-4,5 | B | 19,7 | 90 | - | - | 19,7 | 27,5 | - | 6,0 | - | 7,8 | 0,45 |
| 4,5-6,1 | C | 20,5 | - | 35,5 | 30,7 | 5 | 30,0 | 50 | - | 14,6 | 20,6 | 0,283 |
| 6,1-12,0 | D | 20,7 | 125 | - | - | 20,0 | 26,0 | - | 6,0 | - | 12,5 | 0,45 |

peso di volume; Cu coesione non drenata; ρ angolo di resistenza al taglio di picco; ν_c angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E₂₅ modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità; ν' coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; ν' = angolo di resistenza al taglio drenato.

Stato di progetto



**Modello geologico e geotecnico di riferimento
con parametri geotecnici caratteristici
(1:100)**

Profilo stratigrafico trasversale (piano stradale)

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazioni e del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

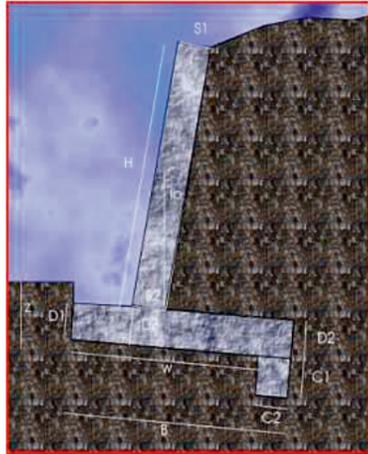
| Profondità | Descrizione del litotipo |
|------------|---|
| 0,0-0,4 | MR - Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale; |
| 0,4-1,5 | A - Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,75-2,0 Kg/cmq; |
| 1,5-4,5 | B - Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,5-2,0 Kg/cmq; SPT1 tra 3,0 e 3,45 N = 3/7/9 |
| 4,5-6,1 | C - Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato; |
| 6,1-12,0 | D - Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. 2,0-2,5 Kg/cmq; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. N = 5/10/14; |

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2_{mar'23}

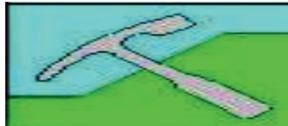
| Profondità | Strat. | | Cu | p | vc | C' | ' | Dr | OCR | E ₂₅ | M | |
|------------|--------|-------|-----|------|------|------|------|----|-----|-----------------|------|-------|
| m dal p.c. | | kN/mc | kPa | ° | ° | KPa | ° | % | - | Mpa | Mpa | - |
| 0,0-0,4 | MR | 17,5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 0,4-1,5 | A | 18,9 | - | 27,5 | 24,1 | 5 | 26,0 | 22 | - | 12,2 | 14,3 | 0,279 |
| 1,5-4,5 | B | 19,7 | 90 | - | - | 19,7 | 27,5 | - | 6,0 | - | 7,8 | 0,45 |
| 4,5-6,1 | C | 20,5 | - | 35,5 | 30,7 | 5 | 30,0 | 50 | - | 14,6 | 20,6 | 0,283 |
| 6,1-12,0 | D | 20,7 | 125 | - | - | 20,0 | 26,0 | - | 6,0 | - | 12,5 | 0,45 |

peso di volume; Cu coesione non drenata; p angolo di resistenza al taglio o di picco; vc angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E₂₅ modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità; coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; ' = angolo di resistenza al taglio drenato.



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

Verifica stabilità globale del muro a mensola



Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terricciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti

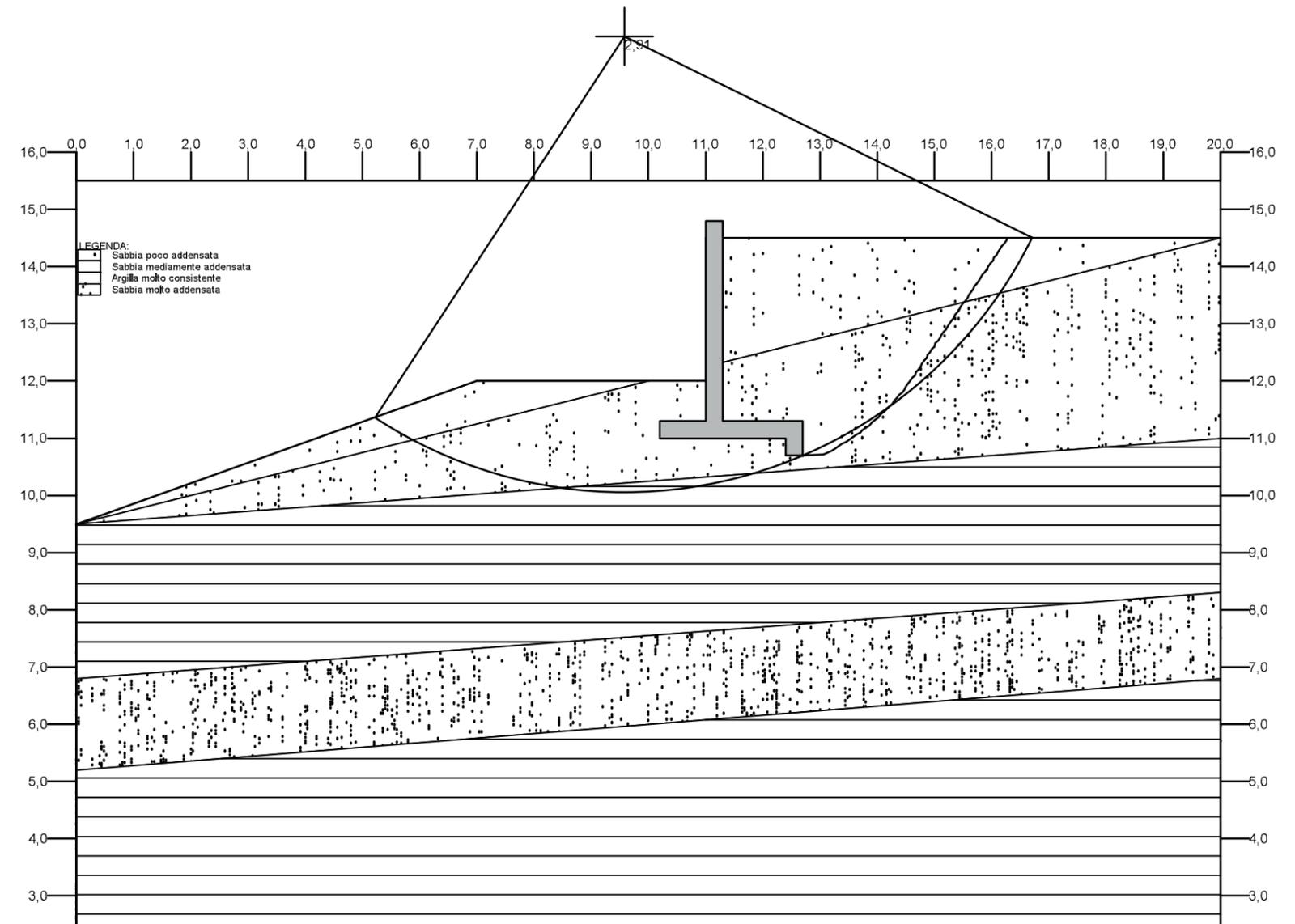
Località: Nugola - Muro giardino storico

Data: Maggio 2023

Riferimenti:

Geometria del muro

| | |
|--|----------------|
| Muro n. | 1 |
| Larghezza della base B (m): | 2,5 |
| Lunghezza del muro (m): | 10 |
| Spessore fondazione a valle d1(m): | 0,3 |
| Spessore fondazione a monte d2(m): | 0,3 |
| Spessore fondazione incastro d3(m): | 0,3 |
| Altezza della parete del muro H (m): | 3,5 |
| Spessore parete in testa s1(m): | 0,3 |
| Spessore parete alla base s2 (m): | 0,3 |
| Spessore cordolo c1(m): | 0,3 |
| Larghezza cordolo c2 (m): | 0,3 |
| Distanza cordolo-bordo a valle w (m): | 2,2 |
| Profondità di posa fondazione z(m): | 1 |
| Inclinazione paramento interno ib(°): | 0 |
| Distanza spigolo-parete a valle(m): | 0,8 |
| Inclinazione della base (°): | 0 |
| Carico orizzontale (kg): | 0 |
| Carico verticale (kg): | 0 |
| Momento (kgm): | 0 |
| Peso di volume del cls (kg/mc): | 2500 |
| Modulo di elasticità del muro(kg/cmq): | 250000 |
| Ascissa della base del muro (m): | 10,2 |
| Ordinata della base del muro (m): | 11 |
| Tipologia muro: | Muro a mensola |



Verifica stabilità globale del muro a mensola Condizione drenata - combinazione fondamentale - DA1-2

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

Riferimenti:
Calcolo delle spinte e verifiche di stabilità del muro: NTC2008 App.I Comb.2
Combinazione delle azioni di calcolo: fondamentale

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

Riferimenti:
Tabella riassuntiva delle spinte

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

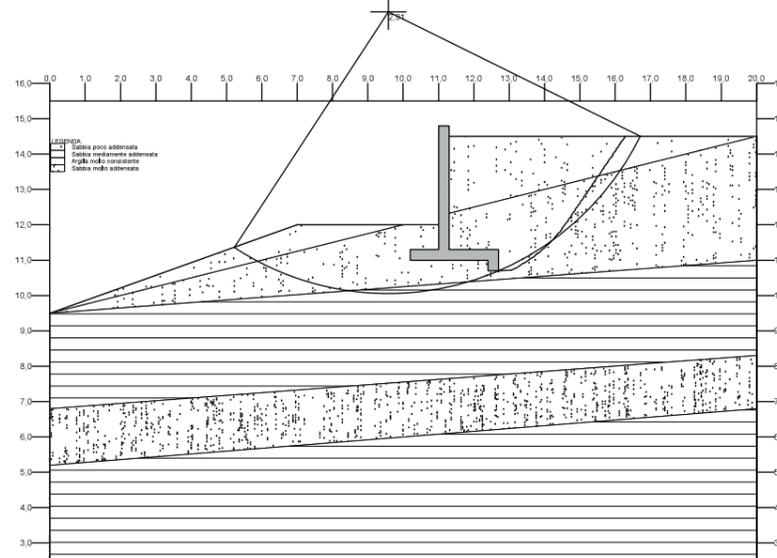
Riferimenti:
Riepilogo forze e momenti agenti sul muro: NTC2008 App.I Comb.2

| | |
|---|------------------|
| Muro numero: | 1 |
| Spinta attiva totale (kg/m) | 3751,042 |
| Spinta passiva totale (kg/m) | |
| Spinta a riposo totale (kg/m) | 6271,013 |
| Metodo di calcolo della spinta attiva: | Mononobe e Okabe |
| Metodo di calcolo della spinta passiva: | Mononobe e Okabe |
| Verifica allo slittamento - coefficiente di sicurezza: | 1,92 |
| Verifica allo schiacciamento - coefficiente di sicurezza: | 2,34 |
| Verifica al ribaltamento - coefficiente di sicurezza: | 5,61 |
| Verifica al sifonamento - coefficiente di sicurezza: | n.c. |
| Portanza della fondazione (kg/cmq) | 0,78 |
| Cedimento assoluto della fondazione (cm): | 1,79 |
| Pressione sul terreno lato a valle (kg/cmq) | 0,7 |
| Pressione sul terreno lato a monte (kg/cmq) | 0,49 |
| Punto di applicazione della spinta a monte (m): | 1,274 |
| Verifica stabilità globale-coefficiente di sicurezza: | 2,91 |
| Accelerazione sismica orizzontale massima (g): | 0,0 |
| Coefficiente beta: | 0,5 |

| Altezza (m) | Spinta attiva(kg/m) | Somma s.attiva(kg/m) | Sp.ta passiva(kg/m) | Somma s.pass.(kg/m) | Sp.ta a riposo(kg/m) | Somma s.riposo(kg/m) |
|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | | 0 | | | | 0 |
| 0,08 | | 0 | | | | 0 |
| 0,16 | | 0 | | | | 0 |
| 0,25 | | 0 | | | | 0 |
| 0,33 | | 0 | | | | 0 |
| 0,41 | | 0 | | | | 0 |
| 0,49 | | 0 | | | 6,55 | 6,55 |
| 0,57 | 3,46 | 3,46 | | | 14,51 | 21,06 |
| 0,66 | 8,8 | 12,26 | | | 22,45 | 43,51 |
| 0,74 | 14,14 | 26,4 | | | 30,37 | 73,88 |
| 0,82 | 19,46 | 45,86 | | | 38,28 | 112,16 |
| 0,9 | 24,77 | 70,63 | | | 46,18 | 158,34 |
| 0,98 | 30,08 | 100,7 | | | 54,06 | 212,4 |
| 1,07 | 35,38 | 136,08 | | | 61,94 | 274,34 |
| 1,15 | 27,76 | 163,84 | | | 55,52 | 329,86 |
| 1,23 | 32,67 | 196,52 | | | 63,1 | 392,96 |
| 1,31 | 37,62 | 234,13 | | | 70,72 | 463,68 |
| 1,39 | 42,59 | 276,72 | | | 78,4 | 542,08 |
| 1,48 | 47,59 | 324,32 | | | 86,12 | 628,2 |
| 1,56 | 52,6 | 376,92 | | | 93,84 | 722,04 |
| 1,64 | 57,67 | 434,59 | | | 101,67 | 823,71 |
| 1,72 | 62,81 | 497,39 | | | 109,59 | 933,3 |
| 1,8 | 67,94 | 565,33 | | | 117,52 | 1050,83 |
| 1,89 | 73,12 | 638,45 | | | 125,51 | 1176,33 |
| 1,97 | 78,29 | 716,74 | | | 133,49 | 1309,83 |
| 2,05 | 83,5 | 800,25 | | | 141,53 | 1451,36 |
| 2,13 | 88,68 | 888,93 | | | 149,53 | 1600,88 |
| 2,21 | 93,83 | 982,76 | | | 157,47 | 1758,35 |
| 2,3 | 98,98 | 1081,74 | | | 165,41 | 1923,77 |
| 2,38 | 104,2 | 1185,94 | | | 173,46 | 2097,23 |
| 2,46 | 109,41 | 1295,35 | | | 181,52 | 2278,75 |
| 2,54 | 114,63 | 1409,98 | | | 189,57 | 2468,32 |
| 2,62 | 119,79 | 1529,77 | | | 197,52 | 2665,84 |
| 2,71 | 124,97 | 1654,75 | | | 205,53 | 2871,37 |
| 2,79 | 130,2 | 1784,94 | | | 213,59 | 3084,96 |
| 2,87 | 135,35 | 1920,3 | | | 221,54 | 3306,5 |
| 2,95 | 140,58 | 2060,87 | | | 229,6 | 3536,11 |
| 3,03 | 145,73 | 2206,61 | | | 237,56 | 3773,67 |
| 3,12 | 150,96 | 2357,57 | | | 245,63 | 4019,29 |
| 3,2 | 156,12 | 2513,68 | | | 253,58 | 4272,88 |
| 3,28 | 161,31 | 2674,99 | | | 261,59 | 4534,47 |
| 3,36 | 166,47 | 2841,45 | | | 269,55 | 4804,02 |
| 3,44 | 171,66 | 3013,11 | | | 277,57 | 5081,59 |
| 3,53 | 176,82 | 3189,93 | | | 285,53 | 5367,12 |
| 3,61 | 181,97 | 3371,9 | | | 293,49 | 5660,6 |
| 3,69 | 187,13 | 3559,04 | | | 301,45 | 5962,05 |
| 3,77 | 192,01 | 3751,04 | | | 308,97 | 6271,01 |

| | |
|---|----------|
| Muro numero: | 1 |
| FORZE VERTICALI (valori caratteristici) | |
| Carico verticale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente verticale dovuta ai tiranti (kg): | 0,0 |
| Peso del muro (kg): | 4725,0 |
| Peso del prisma di terreno gravante sulla mensola a monte (kg): | 8915,19 |
| Componente verticale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 1039,14 |
| Componente verticale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| FORZE ORIZZONTALI (valori caratteristici) | |
| Carico orizzontale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale dovuta ai tiranti di ancoraggio (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 3603,88 |
| Componente orizzontale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| Reazione laterale blocco pali-terreno (kg): | 0,0 |
| MOMENTI E ECCENTRICITA' | |
| Momento agente in testa (kgm): | 0,0 |
| Eccentricità del carico (m): | 0,07 |
| SOMMA FORZE E MOMENTI DI PROGETTO | |
| Totale momenti stabilizzanti (kgm): | 21627,08 |
| Totale momenti instabilizzanti (kgm): | 3852,04 |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 6868,81 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 3578,21 |
| Somma forze verticali (kg): | 15004,16 |
| STABILITA' GLOBALE: SOMMA FORZE | |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 33581,41 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 11549,92 |

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018



PROGRAM GEO
MURI ver.3 per Windows

Verifica stabilità globale del muro a mensola Condizione drenata - combinazione fondamentale - DA2

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico Data: Maggio 2023
Riferimenti:
Calcolo delle spinte e verifiche di stabilità del muro: NTC2008/2018 App.II
Combinazione delle azioni di calcolo: fondamentale

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico Data: Maggio 2023
Riferimenti:
Tabella riassuntiva delle spinte

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

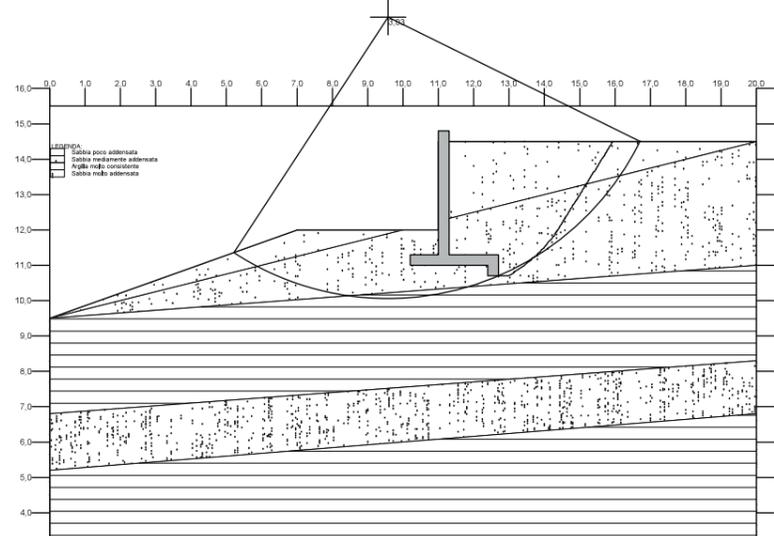
Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico Data: Maggio 2023
Riferimenti:
Riepilogo forze e momenti agenti sul muro: NTC2008/2018 App.II

| | |
|---|------------------|
| Muro numero: | 1 |
| Spinta attiva totale (kg/m) | 2655,599 |
| Spinta passiva totale (kg/m) | |
| Spinta a riposo totale (kg/m) | 4952,557 |
| Metodo di calcolo della spinta attiva: | Mononobe e Okabe |
| Metodo di calcolo della spinta passiva: | Mononobe e Okabe |
| Verifica allo slittamento - coefficiente di sicurezza: | 2,62 |
| Verifica allo schiacciamento - coefficiente di sicurezza: | 3,37 |
| Verifica al ribaltamento - coefficiente di sicurezza: | 7,48 |
| Verifica al sifonamento - coefficiente di sicurezza: | n.c. |
| Portanza della fondazione (kg/cmq) | 1,12 |
| Cedimento assoluto della fondazione (cm): | 2,29 |
| Pressione sul terreno lato a valle (kg/cmq) | 0,4 |
| Pressione sul terreno lato a monte (kg/cmq) | 0,76 |
| Punto di applicazione della spinta a monte (m): | 1,278 |
| Verifica stabilità globale-coefficiente di sicurezza: | 3,03 |
| Accelerazione sismica orizzontale massima (g): | 0,0 |
| Coefficiente beta: | 0,5 |

| Altezza (m) | Spinta attiva(kg/m) | Somma s.attiva(kg/m) | Sp.ta passiva(kg/m) | Somma s.pass.(kg/m) | Sp.ta a riposo(kg/m) | Somma s.riposo(kg/m) |
|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | | 0 | | | | 0 |
| 0,08 | | 0 | | | | 0 |
| 0,16 | | 0 | | | | 0 |
| 0,25 | | 0 | | | | 0 |
| 0,33 | | 0 | | | | 0 |
| 0,41 | | 0 | | | | 0 |
| 0,49 | | 0 | | | | 0 |
| 0,57 | | 0 | | | 0,62 | 0,62 |
| 0,66 | | 0 | | | 7,71 | 8,34 |
| 0,74 | 1,2 | 1,2 | | | 14,79 | 23,12 |
| 0,82 | 5,68 | 6,88 | | | 21,85 | 44,97 |
| 0,9 | 10,16 | 17,04 | | | 28,9 | 73,87 |
| 0,98 | 14,62 | 31,66 | | | 35,94 | 109,8 |
| 1,07 | 19,09 | 50,75 | | | 42,97 | 152,77 |
| 1,15 | 23,55 | 74,3 | | | 50 | 202,77 |
| 1,23 | 14,34 | 88,64 | | | 40,36 | 243,13 |
| 1,31 | 18,45 | 107,09 | | | 47,05 | 290,18 |
| 1,39 | 22,6 | 129,69 | | | 53,82 | 344 |
| 1,48 | 26,73 | 156,42 | | | 60,54 | 404,54 |
| 1,56 | 30,91 | 187,33 | | | 67,36 | 471,9 |
| 1,64 | 35,17 | 222,5 | | | 74,3 | 546,2 |
| 1,72 | 39,44 | 261,94 | | | 81,25 | 627,45 |
| 1,8 | 43,73 | 305,67 | | | 88,25 | 715,7 |
| 1,89 | 48,02 | 353,69 | | | 95,24 | 810,94 |
| 1,97 | 52,35 | 406,04 | | | 102,29 | 913,23 |
| 2,05 | 56,7 | 462,74 | | | 109,38 | 1022,62 |
| 2,13 | 61,06 | 523,8 | | | 116,48 | 1139,1 |
| 2,21 | 65,41 | 589,21 | | | 123,58 | 1262,68 |
| 2,3 | 69,72 | 658,93 | | | 130,59 | 1393,27 |
| 2,38 | 74,08 | 733,01 | | | 137,69 | 1530,96 |
| 2,46 | 78,41 | 811,41 | | | 144,75 | 1675,71 |
| 2,54 | 82,77 | 894,18 | | | 151,86 | 1827,57 |
| 2,62 | 87,07 | 981,26 | | | 158,87 | 1986,45 |
| 2,71 | 91,44 | 1072,7 | | | 165,98 | 2152,43 |
| 2,79 | 95,77 | 1168,47 | | | 173,05 | 2325,48 |
| 2,87 | 100,11 | 1268,58 | | | 180,11 | 2505,59 |
| 2,95 | 104,48 | 1373,06 | | | 187,23 | 2692,82 |
| 3,03 | 108,78 | 1481,84 | | | 194,25 | 2887,07 |
| 3,12 | 113,15 | 1594,99 | | | 201,36 | 3088,43 |
| 3,2 | 117,46 | 1712,45 | | | 208,38 | 3296,81 |
| 3,28 | 121,8 | 1834,25 | | | 215,45 | 3512,27 |
| 3,36 | 126,14 | 1960,38 | | | 222,52 | 3734,79 |
| 3,44 | 130,45 | 2090,83 | | | 229,55 | 3964,34 |
| 3,53 | 134,76 | 2225,59 | | | 236,57 | 4200,9 |
| 3,61 | 139,1 | 2364,68 | | | 243,64 | 4444,55 |
| 3,69 | 143,41 | 2508,09 | | | 250,66 | 4695,21 |
| 3,77 | 147,51 | 2655,6 | | | 257,35 | 4952,56 |

| | |
|---|----------|
| Muro numero: | 1 |
| FORZE VERTICALI (valori caratteristici) | |
| Carico verticale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente verticale dovuta ai tiranti (kg): | 0,0 |
| Peso del muro (kg): | 4725,0 |
| Peso del prisma di terreno gravante sulla mensola a monte (kg): | 8915,19 |
| Componente verticale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 902,09 |
| Componente verticale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| FORZE ORIZZONTALI (valori caratteristici) | |
| Carico orizzontale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale dovuta ai tiranti di ancoraggio (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 2497,4 |
| Componente orizzontale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| Reazione laterale blocco pali-terreno (kg): | 0,0 |
| MOMENTI E ECCENTRICITA' | |
| Momento agente in testa (kgm): | 0,0 |
| Eccentricità del carico (m): | -0,13 |
| SOMMA FORZE E MOMENTI DI PROGETTO | |
| Totale momenti stabilizzanti (kgm): | 23684,99 |
| Totale momenti instabilizzanti (kgm): | 3168,15 |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 8455,35 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 3223,49 |
| Somma forze verticali (kg): | 19157,12 |
| STABILITA' GLOBALE: SOMMA FORZE | |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 33756,3 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 11136,47 |

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018



PROGRAM GEO
MURI ver.3 per Windows

Verifica stabilità globale del muro a mensola

Condizione drenata - combinazione sismica - DA1-2

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

Riferimenti:
Calcolo delle spinte e verifiche di stabilità del muro: NTC2008 App.I Comb.2
Combinazione delle azioni di calcolo: sismica

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

Riferimenti:
Tabella riassuntiva delle spinte

Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023

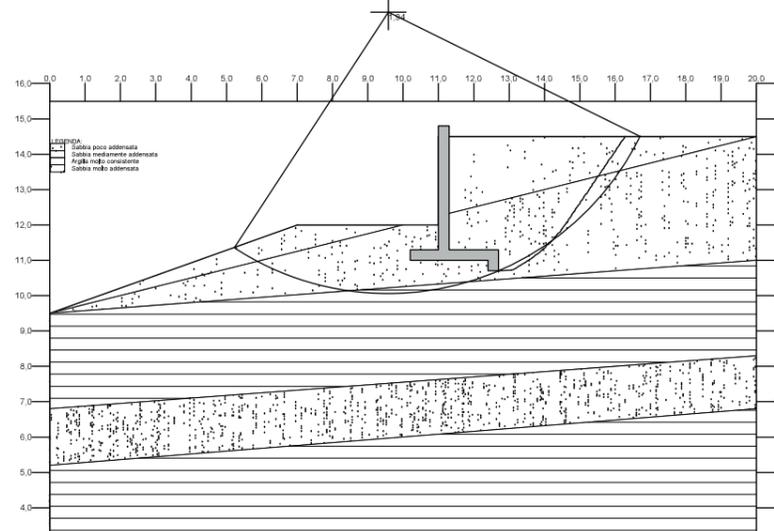
Riferimenti:
Riepilogo forze e momenti agenti sul muro: NTC2008 App.I Comb.2

| | |
|---|------------------|
| Muro numero: | 1 |
| Spinta attiva totale (kg/m) | 4632,575 |
| Spinta passiva totale (kg/m) | |
| Spinta a riposo totale (kg/m) | 5762,252 |
| Metodo di calcolo della spinta attiva: | Mononobe e Okabe |
| Metodo di calcolo della spinta passiva: | Mononobe e Okabe |
| Verifica allo slittamento - coefficiente di sicurezza: | 1,58 |
| Verifica allo schiacciamento - coefficiente di sicurezza: | 2,29 |
| Verifica al ribaltamento - coefficiente di sicurezza: | 4,67 |
| Verifica al sifonamento - coefficiente di sicurezza: | n.c. |
| Portanza della fondazione (kg/cmq) | 0,78 |
| Cedimento assoluto della fondazione (cm): | 1,83 |
| Pressione sul terreno lato a valle (kg/cmq) | 0,78 |
| Pressione sul terreno lato a monte (kg/cmq) | 0,43 |
| Punto di applicazione della spinta a monte (m): | 1,273 |
| Verifica stabilità globale-coefficiente di sicurezza: | 1,94 |
| Accelerazione sismica orizzontale massima (g): | 0,244 |
| Coefficiente beta: | 0,5 |

| Altezza (m) | Spinta attiva(kg/m) | Somma s.attiva(kg/m) | Sp.ta passiva(kg/m) | Somma s.pass.(kg/m) | Sp.ta a riposo(kg/m) | Somma s.riposo(kg/m) |
|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | | 0 | | | | 0 |
| 0,08 | | 0 | | | | 0 |
| 0,16 | | 0 | | | | 0 |
| 0,25 | | 0 | | | | 0 |
| 0,33 | | 0 | | | | 0 |
| 0,41 | | 0 | | | | 0 |
| 0,49 | | 0 | | | 3,54 | 3,54 |
| 0,57 | 6,36 | 6,36 | | | 11,02 | 14,55 |
| 0,66 | 12,71 | 19,07 | | | 18,47 | 33,03 |
| 0,74 | 19,06 | 38,13 | | | 25,91 | 58,94 |
| 0,82 | 25,38 | 63,51 | | | 33,34 | 92,27 |
| 0,9 | 31,7 | 95,22 | | | 40,75 | 133,02 |
| 0,98 | 38,02 | 133,23 | | | 48,15 | 181,18 |
| 1,07 | 44,32 | 177,56 | | | 55,55 | 236,73 |
| 1,15 | 50,64 | 221,90 | | | 62,95 | 295,67 |
| 1,23 | 56,96 | 266,23 | | | 70,35 | 358,02 |
| 1,31 | 63,28 | 310,57 | | | 77,75 | 424,77 |
| 1,39 | 69,60 | 354,90 | | | 85,15 | 496,02 |
| 1,48 | 75,92 | 399,24 | | | 92,55 | 571,77 |
| 1,56 | 82,24 | 443,58 | | | 100,00 | 651,77 |
| 1,64 | 88,56 | 487,92 | | | 107,40 | 736,02 |
| 1,72 | 94,88 | 532,26 | | | 114,80 | 824,52 |
| 1,8 | 101,20 | 576,60 | | | 122,20 | 917,27 |
| 1,89 | 107,52 | 620,94 | | | 129,60 | 1014,27 |
| 1,97 | 113,84 | 665,28 | | | 137,00 | 1115,52 |
| 2,05 | 120,16 | 709,62 | | | 144,40 | 1221,02 |
| 2,13 | 126,48 | 753,96 | | | 151,80 | 1330,77 |
| 2,21 | 132,80 | 798,30 | | | 159,20 | 1444,77 |
| 2,3 | 139,12 | 842,64 | | | 166,60 | 1563,02 |
| 2,38 | 145,44 | 886,98 | | | 174,00 | 1685,52 |
| 2,46 | 151,76 | 931,32 | | | 181,40 | 1812,27 |
| 2,54 | 158,08 | 975,66 | | | 188,80 | 1943,27 |
| 2,62 | 164,40 | 1020,00 | | | 196,20 | 2078,52 |
| 2,71 | 170,72 | 1064,34 | | | 203,60 | 2218,02 |
| 2,79 | 177,04 | 1108,68 | | | 211,00 | 2361,77 |
| 2,87 | 183,36 | 1153,02 | | | 218,40 | 2509,77 |
| 2,95 | 189,68 | 1197,36 | | | 225,80 | 2662,02 |
| 3,03 | 196,00 | 1241,70 | | | 233,20 | 2818,52 |
| 3,12 | 202,32 | 1286,04 | | | 240,60 | 2979,27 |
| 3,2 | 208,64 | 1330,38 | | | 248,00 | 3144,27 |
| 3,28 | 214,96 | 1374,72 | | | 255,40 | 3313,52 |
| 3,36 | 221,28 | 1419,06 | | | 262,80 | 3487,02 |
| 3,44 | 227,60 | 1463,40 | | | 270,20 | 3664,77 |
| 3,53 | 233,92 | 1507,74 | | | 277,60 | 3846,77 |
| 3,61 | 240,24 | 1552,08 | | | 285,00 | 4033,02 |
| 3,69 | 246,56 | 1596,42 | | | 292,40 | 4223,52 |
| 3,77 | 252,88 | 1640,76 | | | 299,80 | 4418,27 |

| | |
|---|----------|
| Muro numero: | 1 |
| FORZE VERTICALI (valori caratteristici) | |
| Carico verticale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente verticale dovuta ai tiranti (kg): | 0,0 |
| Peso del muro (kg): | 4725,0 |
| Peso del prisma di terreno gravante sulla mensola a monte (kg): | 8915,19 |
| Componente verticale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 1282,69 |
| Componente verticale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| FORZE ORIZZONTALI (valori caratteristici) | |
| Carico orizzontale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale dovuta ai tiranti di ancoraggio (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 4450,99 |
| Componente orizzontale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| Reazione laterale blocco pali-terreno (kg): | 0,0 |
| MOMENTI E ECCENTRICITA' | |
| Momento agente in testa (kgm): | 0,0 |
| Eccentricità del carico (m): | 0,12 |
| SOMMA FORZE E MOMENTI DI PROGETTO | |
| Totale momenti stabilizzanti (kgm): | 22178,98 |
| Totale momenti instabilizzanti (kgm): | 4753,84 |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 7002,55 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 4419,29 |
| Somma forze verticali (kg): | 15346,9 |
| STABILITA' GLOBALE: SOMMA FORZE | |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 32974,29 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 17016,14 |

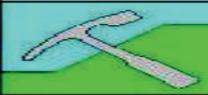
LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018



PROGRAM GEO
MURI ver.3 per Windows

Verifica stabilità globale del muro a mensola

Condizione drenata - combinazione sismica - DA2

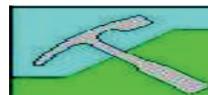


Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023
Riferimenti:

Calcolo delle spinte e verifiche di stabilità del muro: NTC2008/2018 App.II
Combinazione delle azioni di calcolo: sismica

| | |
|---|------------------|
| Muro numero: | 1 |
| Spinta attiva totale (kg/m) | 3385,374 |
| Spinta passiva totale (kg/m) | |
| Spinta a riposo totale (kg/m) | 4508,335 |
| Metodo di calcolo della spinta attiva: | Mononobe e Okabe |
| Metodo di calcolo della spinta passiva: | Mononobe e Okabe |
| Verifica allo slittamento - coefficiente di sicurezza: | 2,1 |
| Verifica allo schiacciamento - coefficiente di sicurezza: | 3,3 |
| Verifica al ribaltamento - coefficiente di sicurezza: | 6,02 |
| Verifica al sifonamento - coefficiente di sicurezza: | n.c. |
| Portanza della fondazione (kg/cmq) | 1,12 |
| Cedimento assoluto della fondazione (cm): | 2,34 |
| Pressione sul terreno lato a valle (kg/cmq) | 0,47 |
| Pressione sul terreno lato a monte (kg/cmq) | 0,72 |
| Punto di applicazione della spinta a monte (m): | 1,277 |
| Verifica stabilità globale-coefficiente di sicurezza: | 2,0 |
| Accelerazione sismica orizzontale massima (g): | 0,244 |
| Coefficiente beta: | 0,5 |



Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023
Riferimenti:

Tabella riassuntiva delle spinte

| Altezza (m) | Spinta attiva(kg/m) | Somma s.attiva(kg/m) | Sp.ta passiva(kg/m) | Somma s.pass.(kg/m) | Sp.ta a riposo(kg/m) | Somma s.riposo(kg/m) |
|-------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | | 0 | | | | 0 |
| 0,08 | | 0 | | | | 0 |
| 0,16 | | 0 | | | | 0 |
| 0,25 | | 0 | | | | 0 |
| 0,33 | | 0 | | | | 0 |
| 0,41 | | 0 | | | | 0 |
| 0,49 | | 0 | | | | 0 |
| 0,57 | | 0 | | | | 0 |
| 0,66 | | 0 | | | 4,16 | 4,16 |
| 0,74 | 4,31 | 4,31 | | | 10,8 | 14,96 |
| 0,82 | 9,7 | 14,01 | | | 17,43 | 32,39 |
| 0,9 | 15,08 | 29,09 | | | 24,05 | 56,45 |
| 0,98 | 20,46 | 49,55 | | | 30,66 | 87,11 |
| 1,07 | 25,83 | 75,38 | | | 37,27 | 124,37 |
| 1,15 | 31,2 | 106,58 | | | 43,87 | 168,24 |
| 1,23 | 21,43 | 128,01 | | | 34,15 | 202,39 |
| 1,31 | 26,44 | 154,45 | | | 40,43 | 242,82 |
| 1,39 | 31,52 | 185,97 | | | 46,79 | 289,61 |
| 1,48 | 36,56 | 222,53 | | | 53,1 | 342,71 |
| 1,56 | 41,67 | 264,2 | | | 59,5 | 402,21 |
| 1,64 | 46,88 | 311,08 | | | 66,02 | 468,23 |
| 1,72 | 52,09 | 363,17 | | | 72,55 | 540,78 |
| 1,8 | 57,33 | 420,5 | | | 79,11 | 619,89 |
| 1,89 | 62,58 | 483,09 | | | 85,69 | 705,58 |
| 1,97 | 67,86 | 550,95 | | | 92,3 | 797,88 |
| 2,05 | 73,18 | 624,13 | | | 98,96 | 896,84 |
| 2,13 | 78,51 | 702,64 | | | 105,63 | 1002,47 |
| 2,21 | 83,83 | 786,47 | | | 112,29 | 1114,76 |
| 2,3 | 89,08 | 875,55 | | | 118,87 | 1233,64 |
| 2,38 | 94,41 | 969,96 | | | 125,55 | 1359,18 |
| 2,46 | 99,7 | 1069,67 | | | 132,17 | 1491,35 |
| 2,54 | 105,03 | 1174,7 | | | 138,85 | 1630,2 |
| 2,62 | 110,29 | 1284,99 | | | 145,43 | 1775,64 |
| 2,71 | 115,62 | 1400,62 | | | 152,11 | 1927,75 |
| 2,79 | 120,92 | 1521,54 | | | 158,74 | 2086,49 |
| 2,87 | 126,22 | 1647,76 | | | 165,38 | 2251,87 |
| 2,95 | 131,55 | 1779,31 | | | 172,06 | 2423,93 |
| 3,03 | 136,82 | 1916,13 | | | 178,65 | 2602,58 |
| 3,12 | 142,15 | 2058,28 | | | 185,33 | 2787,91 |
| 3,2 | 147,42 | 2205,7 | | | 191,92 | 2979,83 |
| 3,28 | 152,72 | 2358,41 | | | 198,56 | 3178,39 |
| 3,36 | 158,02 | 2516,43 | | | 205,2 | 3383,6 |
| 3,44 | 163,28 | 2679,72 | | | 211,79 | 3595,39 |
| 3,53 | 168,55 | 2848,27 | | | 218,39 | 3813,78 |
| 3,61 | 173,85 | 3022,12 | | | 225,03 | 4038,81 |
| 3,69 | 179,12 | 3201,24 | | | 231,62 | 4270,43 |
| 3,77 | 184,13 | 3385,37 | | | 237,9 | 4508,33 |



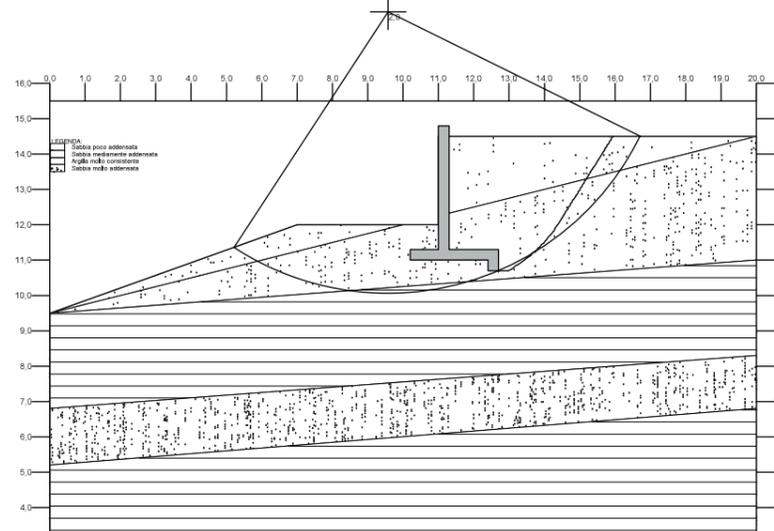
Geol. Mosè Montagnani
Volterrana 427-Terriciola (PI)-347 3243120

Committente: Comune di Collesalvetti
Località: Nugola - Muro giardino storico
Data: Maggio 2023
Riferimenti:

Riepilogo forze e momenti agenti sul muro: NTC2008/2018 App.II

| | |
|---|----------|
| Muro numero: | 1 |
| FORZE VERTICALI (valori caratteristici) | |
| Carico verticale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente verticale dovuta ai tiranti (kg): | 0,0 |
| Peso del muro (kg): | 4725,0 |
| Peso del prisma di terreno gravante sulla mensola a monte (kg): | 8915,19 |
| Componente verticale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 1149,0 |
| Componente verticale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| FORZE ORIZZONTALI (valori caratteristici) | |
| Carico orizzontale agente in testa (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale dovuta ai tiranti di ancoraggio (kg): | 0,0 |
| Componente orizzontale della spinta attiva (o a riposo): (kg): | 3184,01 |
| Componente orizzontale della spinta passiva (kg): | 0,0 |
| Reazione laterale blocco pali-terreno (kg): | 0,0 |
| MOMENTI E ECCENTRICITA' | |
| Momento agente in testa (kgm): | 0,0 |
| Eccentricità del carico (m): | -0,09 |
| SOMMA FORZE E MOMENTI DI PROGETTO | |
| Totale momenti stabilizzanti (kgm): | 24306,7 |
| Totale momenti instabilizzanti (kgm): | 4035,39 |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 8614,82 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 4109,72 |
| Somma forze verticali (kg): | 19582,17 |
| STABILITA' GLOBALE: SOMMA FORZE | |
| Totale forze stabilizzanti (kg): | 33139,91 |
| Totale forze instabilizzanti (kg): | 16602,69 |

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018



PROGRAM GEO
MURI ver.3 per Windows