REGIONE LIGURIA

COMUNE di MENDATICA

Provincia di Imperia

Oggetto: *"Ripristino dell'officiosità idraulica del Torrente Arroscia con la contestuale messa in sicurezza dei versanti limitrofi la viabilità provinciale e gli immobili comunali*

RELAZIONE GEOTECNICA

D.M. 17/01/2018

Albenga, aprile 2021

COMMITTENTE: COMUNE DI MENDATICA

PROGETTISTA: Ing. TARANTINO Luca

Dott. Geol. MACCIO' M. Roberto
Via Bellò,4-S.Fedele 17031 ALBENGA (SV)
Iscrizione O.R.G.L. n° 168
Tel./fax 0182-548404
e.mail: macciogeo@alice.it

Dott. Geol. ARRIGHETTI Fabio
Iscrizione O.R.G.L. n° 583

Dott. Geol. MACCIO' Tommaso
Iscrizione O.R.G.L. n° 670

INDICE

1. PREMESSA..... pag.2
2. TIPOLOGIA DIFESA SPONDALE IN PROGETTO pag.2
3. RELAZIONE GEOTECNICA AI SENSI NTC 2018.....pag.3
3.1 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione statica – Scogliera – SEZIONE 4..... pag.13
3.2 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione dinamica – Scogliera – SEZIONE 4..... pag.22
3.3 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione statica – Scogliera – SEZIONE 7..... pag.29
3.4 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione dinamica – Scogliera – SEZIONE 7..... pag.37
4. VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE..... pag.44
4.1 Stabilità Globale – Stato di Progetto – Sezione 4..... pag.46
4.2 Stabilità Globale – Stato di Progetto – Sezione 7..... pag.49
5. CONCLUSIONI..... pag.53

ALLEGATI GRAFICI

TAV 1	COROGRAFIA	C.T.R. scala 1:5.000
TAV 6A-6B	SEZIONI GEOLOGICHE DI PROGETTO	scala 1:200

1. PREMESSA

In risposta alla richiesta documentazione da parte della Regione Liguria Settore Difesa del Suolo Imperia con lettera prot. N. PG/2021/177366, si redige il presente elaborato integrativo alla pratica in oggetto Class/fasc. 2021/G13.12.7/3-7.

In particolare vengono trattati gli ultimi 4 punti di competenza geologico-tecnica, ovvero relativi alla relazione geotecnica ai sensi NTC 2018, analisi di stabilità della scogliera e la verifica della fondazione con le criticità legate all'erosione spondale.

2. TIPOLOGIA DIFESA SPONDALE IN PROGETTO

In riferimento alle criticità legate all'erosione spondale, verificate a seguito dell'evento alluvionale di fine ottobre 2019 nel tratto in sponda sinistra a monte del ponte della S.P.n.3, ove è stata demolita una difesa spondale in massi a secco, è stato concordato con il progettista di adottare una scogliera in massi e cls con legature con funi e barre di acciaio; l'opera, come accorgimento tecnico antierosivo per evitarne lo scalzamento, sarà dotata di un unghia di spessore 1.5m, basate su una platea di fondazione in cls con rete elettrosaldata, di spessore 30cm.

Un fattore favorevole è costituito dalla disponibilità di grossi blocchi rocciosi in alveo da utilizzare per la costruzione della scogliera; un ulteriore fattore da considerare a favore di stabilità dell'opera è la presenza di massi ciclopici di volume unitario plurimetrico, compresi al piede del deposito di paleofrana, assolutamente non amovibili con mezzi meccanici e non disgregabili con l'utilizzo di esplosivo a tutela dei manufatti emergenti soprastanti, che diverranno parte integrante della difesa spondale. Infatti è previsto il loro ancoraggio ai massi costituenti la scogliera. Si precisa che, ove presente il substrato roccioso come strato fondazionale, i massi cementati verranno ad esso ancorati con barre e funi metalliche.

Per contrastare l'impermeabilità dell'opera il materiale a tergo sarà costituito dal deposito alluvionale prelevato dall'alveo di caratteristiche assolutamente drenanti.

La tipologia dell'opera adottata avrà un discreto impatto sul paesaggio e sull'ambiente rispetto ad una scogliera a secco, ma si ritiene prioritario la tutela dei fabbricati storici soprastanti e della S.P.3 tramite l'adozione degli accorgimenti tecnici antierosivi suddetti.

3. RELAZIONE GEOTECNICA AI SENSI NTC 2018

Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Scogliera

Nel presente paragrafo sono state eseguite le verifiche agli stati limite ultimi riferite all'opera di difesa spondale costituita dalla scogliera in progetto di altezza pari a 5.50m fuori terra, con un unghia di fondazione basata sia sul deposito alluvionale (sezione 4) che sul substrato roccioso (sezione 7).

I calcoli per il dimensionamento strutturale delle opere sono stati condotti adottando il metodo semiprobabilistico agli stati limite, verificandone i requisiti di sicurezza allo stato limite ultimo, anche sotto l'azione sismica.

Gli stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno interagente con un muro di sostegno riguardano lo scorrimento sul piano di posa, il raggiungimento del carico limite nei terreni di fondazione, il ribaltamento dell'opera e la stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Tutte le azioni agenti sul muro di sostegno possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.

Nello stato limite ultimo di collasso per scorrimento, l'azione di progetto è data dalla componente della risultante delle forze in direzione parallela al piano di scorrimento della fondazione, mentre la resistenza di progetto è il valore della forza parallela al piano cui corrisponde lo scorrimento dell'opera.

Nello stato limite di collasso per raggiungimento del carico limite della fondazione, l'azione di progetto è la componente della risultante delle forze in direzione nomale al piano di posa. La resistenza di progetto è il valore della forza normale al piano di posa a cui corrisponde il raggiungimento del carico limite nei terreni in fondazione.

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

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico (MDC della Geostru).

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

- *SLU di tipo geotecnico (GEO)*

o scorrimento sul piano di posa;

o collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;

o ribaltamento;

o stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;

Nelle verifiche STR si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali o comunque negli elementi che costituiscono il muro di sostegno, inclusi eventuali ancoraggi, che non sono stati considerati nel presente caso.

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

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I. Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

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

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

Nel calcolo è stata considerata la presenza della falda all'interno del deposito alluvionale, mentre non sono stati considerati dei sovraccarichi, non essendo previsto un passaggio automezzi a ridosso dell'opera in progetto.

Di seguito vengono rappresentati i dati dei parametri strutturali, geotecnici e i fattori di combinazione utilizzati nei calcoli e i relativi risultati delle verifiche:

RELAZIONE DI CALCOLO

Normative di riferimento:

NTC 2018 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018.
CIRCOLARE del 21/01/2019, **n. 7** - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Calcolo della spinta attiva con Coulomb

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Coulomb* è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad 1/3 H di valore

$$S_t = \frac{1}{2}\gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}}\right]^2}$$

Valori limite di K_a:

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

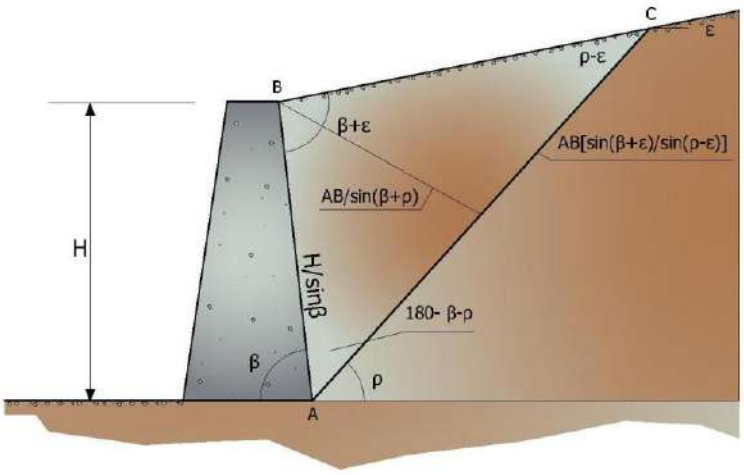
β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

ϕ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ Angolo di attrito terra-muro;

ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.



Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

Calcolo della spinta attiva con Rankine

Se $\varepsilon = \delta = 0$ e $\beta = 90°$ (muro con parete verticale liscia e terrapieno con superficie orizzontale) la spinta S_t si semplifica nella forma:

$$S_t = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \frac{(1-\sin\varphi)}{(1+\sin\varphi)} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

che coincide con l'equazione di Rankine per il calcolo della spinta attiva del terreno con terrapieno orizzontale. In effetti Rankine adottò essenzialmente le stesse ipotesi fatte da Coulomb, ad eccezione del fatto che trascurò l'attrito terra-muro e la presenza di coesione. Nella sua formulazione generale l'espressione di K_a di Rankine si presenta come segue:

$$K_a = \cos\varepsilon \frac{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo ε, di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo β, di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità ϑ tale che:

$$\tan\vartheta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_h}\right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2018** calcolano i coefficienti k_h e k_v in dipendenza di vari fattori:

$$k_h = \beta_m \cdot \left(\frac{a_{max}}{g}\right); k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β_m coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente β_m assume valore unitario. Per i muri liberi di traslare o ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuto al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di studi specifici, si assume che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

a_{max} Accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g Accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

S coefficiente comprendente l'effetto di amplificazione stratigrafica S_S e di amplificazione topografica S_T.

a_g accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1-PVR)}$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$k_h = \frac{a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S}{g}$$

a_{gR} Accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante;
γ_I Fattore di importanza;
S Soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E);
$a_g = a_{gR}\gamma_I$ è la *"design ground acceleration on type A ground"*.

Il coefficiente sismico verticale k_V è definito in funzione di k_h, e vale:

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Effetto dovuto alla coesione
La coesione induce delle pressioni negative costanti pari a:

$$P_c = -2 \cdot c \cdot \sqrt{K_a}$$

Non essendo possibile stabilire a priori quale sia il decremento indotto nella spinta per effetto della coesione, è stata calcolata un'altezza critica Z_C come segue:

$$Z_c = \frac{2 \cdot c}{\gamma} \cdot \frac{1}{\sqrt{K_A}} - \frac{Q \cdot \frac{\sin\beta}{\sin(\beta+\varepsilon)}}{\gamma}$$

Dove:

Q = Carico agente sul terrapieno.

Se $Z_C < 0$ è possibile sovrapporre direttamente gli effetti, con decremento pari a:

$$S_c = P_c \cdot H$$

con punto di applicazione pari a H/2.

Carico uniforme sul terrapieno
Un carico *Q*, uniformemente distribuito sul piano campagna induce delle pressioni costanti pari a:

$$P_q = K_a \cdot Q \cdot \frac{\sin\beta}{\sin(\beta+\varepsilon)}$$

Per integrazione, una spinta pari a S_q:

$$S_q = K_a \cdot Q \cdot H \frac{\sin\beta}{\sin(\beta+\varepsilon)}$$

Con punto di applicazione ad H/2, avendo indicato con K_a il coefficiente di spinta attiva secondo *Muller-Breslau.*

Spinta attiva in condizioni sismiche
In presenza di sisma la forza di calcolo esercitata dal terrapieno sul muro è data da:

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

Dove:

H	Altezza muro;
k_V	Coefficiente sismico verticale;
γ	Peso per unità di volume del terreno;
K	Coefficienti di spinta attiva totale (statico + dinamico);
E_{ws}	Spinta idrostatica dell'acqua;
E_{wd}	Spinta idrodinamica.

Per terreni impermeabili la spinta idrodinamica E_{wd} = 0, ma viene effettuata una correzione sulla valutazione dell'angolo ϑ della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\mathrm{tg}\,\vartheta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

Nei terreni ad elevata permeabilità in condizioni dinamiche continua a valere la correzione di cui sopra, ma la spinta idrodinamica assume la seguente espressione:

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

Con H' altezza del livello di falda misurato a partire dalla base del muro.

Spinta idrostatica
La falda con superficie distante H_W dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z, sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2}\gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{saturo} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Resistenza passiva
Per terreno omogeneo il diagramma delle pressioni risulta lineare del tipo:

$$P_t = K_p \cdot \gamma_t \cdot z$$

per integrazione si ottiene la spinta passiva:

$$S_p = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_p$$

Avendo indicato con:

$$K_p = \frac{\sin^2(\varphi + \beta)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta - \delta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + \varepsilon)}{\sin(\beta - \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}}\right]^2}$$

(Muller-Breslau) con valori limiti di δ pari a:

$$\delta < \beta - \varphi - \varepsilon$$

L'espressione di K_p secondo la formulazione di Rankine assume la seguente forma:

$$K_p = \frac{\cos\varepsilon + \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}{\cos\varepsilon - \sqrt{\cos^2\varepsilon - \cos^2\varphi}}$$

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

VESIC - Analisi a breve termine

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q$$

Dove:

A' = B'L' area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata;

q Pressione litostatica totale sul piano di posa;

s_c Fattore di forma;

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right)$ per fondazioni rettangolari, il valore di s_C viene assunto pari ad 1 per fondazioni nastriformi

d_c Fattore di profondità;

$d_c = 0.4 \cdot K \;\; \text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \le 1 \text{ altrimenti } K = \arctan \frac{D}{B}$

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H;

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f Area efficace della fondazione;

c_a Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

VESIC - Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \le c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$
$$N_c = \left(N_q - 1 \right) \cdot \cot \varphi'$$
$$N_\gamma = 2 \cdot \left(N_q + 1 \right) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \varphi'$ per forma rettangolare

$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right)$ per forma rettangolare

$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$ per forma rettangolare, quadrata o circolare

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'}\right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan\varphi'}$$

$$m = \frac{2 + \frac{B'}{L'}}{1 + \frac{B'}{L'}}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

$$d_q = 1 + 2\tan\varphi \cdot (1 - \sin\varphi) \cdot K$$

$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \le 1 \text{ altrimenti } K = \arctan\frac{D}{B}$$

$$d_\gamma = 1$$

HANSEN - Analisi a breve termine

$$\frac{R}{A'} \le (2 + \pi) \cdot c_u (1 + s_c + d_c - i_c) + q$$

Dove:

A' = B' L' area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u Coesione non drenata;

q Pressione litostatica totale sul piano di posa;

s_c Fattore di forma, $s_c = 0$ per fondazioni nastriformi;

d_c Fattore di profondità;

$$d_c = 0.4 \cdot K \text{ con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \le 1 \text{ altrimenti } K = \arctan\frac{D}{B}$$

i_c Fattore correttivo di inclinazione del carico;

$$i_c = 0.5 - 0.5\sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$$

A_f Area efficace della fondazione;

c_a Aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

HANSEN- Analisi a lungo termine

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \le c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \cdot d_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan\varphi'} \tan^2\left(45 + \frac{\varphi'}{2}\right)$$
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\varphi'$$
$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan\varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'}\right) \cdot \tan\varphi'$$ per forma rettangolare

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'}\right)$$ per forma rettangolare

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'}$$ per forma rettangolare, quadrata o circolare.

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1$$ per fondazione nastriforme

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

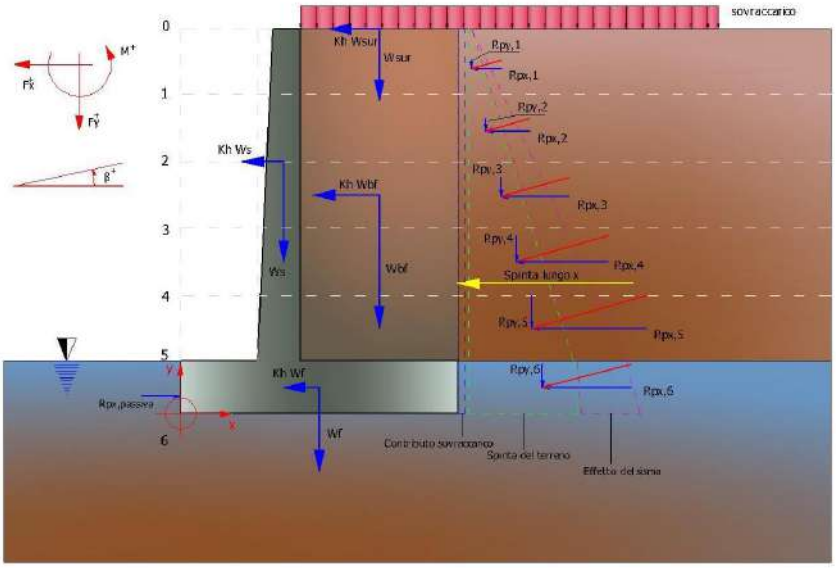
$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'}\right)^3$$
$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'}\right)^3$$
$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$
$$d_q = 1 + 2\tan\varphi(1 - \sin\varphi) \cdot K$$
$$\text{con } K = \frac{D}{B} \text{ se } \frac{D}{B} \le 1 \text{ altrimenti } K = \arctan\frac{D}{B}$$
$$d_\gamma = 1$$

Sollecitazioni muro

Per il calcolo delle sollecitazioni il muro è stato discretizzato in n-tratti in funzione delle sezioni significative e per ogni tratto sono state calcolate le spinte del terreno (valutate secondo un piano di rottura passante per il paramento lato monte), le risultanti delle forze orizzontali e verticali e le forze inerziali.



Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

Calcolo delle spinte per le verifiche globali
Le spinte sono state valutate ipotizzando un piano di rottura passante per l'estradosso della mensola di fondazione lato monte, tale piano è stato discretizzato in *n-tratti*.

Convenzione segni

Forze verticali	positive se dirette dall'alto verso il basso;
Forze orizzontali	positive se dirette da monte verso valle;
Coppie	positive se antiorarie;
Angoli	positivi se antiorari.

3.1 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione statica – Scogliera – SEZIONE 4 (cfr. TAV.6A)

Dati generali

Data	24/05/2021
Condizioni ambientali	Ordinarie
Lat./Long. [WGS84]	44,073767/7,813466
Normativa GEO	NTC 2018
Normativa STR	NTC 2018
Spinta	Mononobe e Okabe [M.O. 1929]

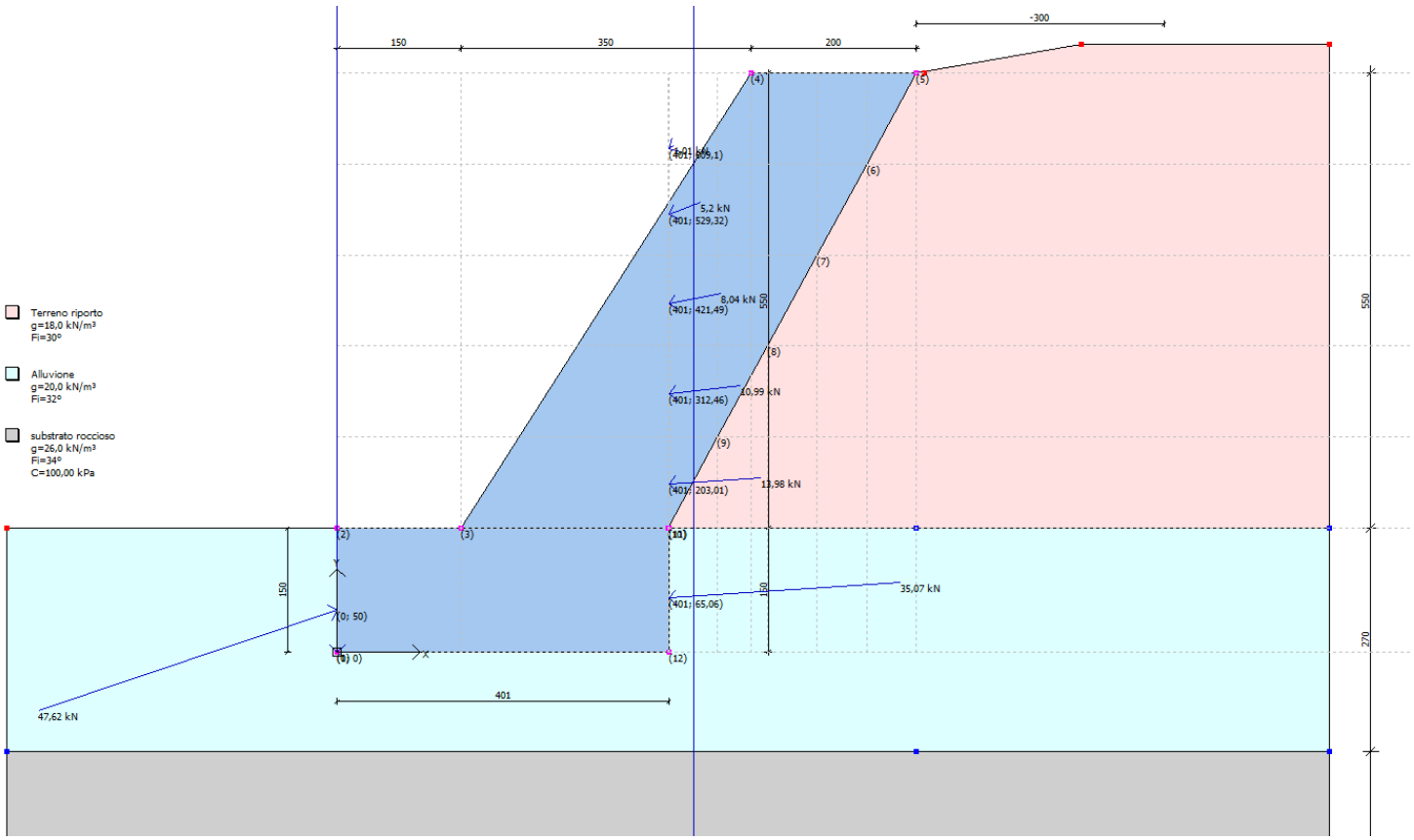
Dati generali muro

Altezza muro	550,0 cm
Spessore testa muro	200,0 cm
Risega muro lato valle	350,0 cm
Risega muro lato monte	-300,0 cm
Sporgenza mensola a valle	150,0 cm
Sporgenza mensola a monte	1,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	150,0 cm

Altezza estremità mensola a monte 150,0 cm

Stratigrafia

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	550	0	18,00	30	0,00	23	No		Terreno riporto
2	270	0	20,00	32	0,00	24	Si		Alluvione
3	580	0	26,00	34	100,00	26	No		substrato roccioso



FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
4	Ribaltamento	1,15

A1+M1+R3 [GEO+STR]

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
ß Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
700,0	590,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ Angolo di direzione della spinta.
Ka Coefficiente di spinta attiva.
Kd Coefficiente di spinta dinamica.
Dk Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

μ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
Qf Quota inizio strato.
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	700,0	590,0	1,49	-0,16	626,67	626,67
2	590,0	480,0	4,46	-0,47	528,89	528,89
3	480,0	370,0	7,43	-0,78	421,33	421,33
4	370,0	260,0	10,4	-1,09	312,38	312,38
5	260,0	150,0	13,37	-1,41	202,96	202,96

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
590,0	0,0	55,29	567,2	644,6
480,0	0,0	113,28	534,0	588,3
370,0	0,0	173,97	500,2	531,2
260,0	0,0	237,35	466,1	473,3
150,0	0,0	303,44	431,5	414,8

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
590,0	1,49	55,14	-17,06	210,0
480,0	5,94	112,66	-67,31	220,0
370,0	13,37	172,56	-148,96	230,0
260,0	23,77	234,86	-260,87	240,0
150,0	37,13	299,53	-401,06	250,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afv Area dei ferri lato valle.

Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
28Ø14 (43,1)	14Ø14 (21,55)	55,2	3487,18	S	481,63	68,15	370,14
29Ø14 (44,64)	15Ø14 (23,09)	112,59	3845,83	S	500,09	68,15	95,64
30Ø14 (46,18)	15Ø14 (23,09)	172,58	4220,84	S	518,49	68,15	43,88
32Ø14 (49,26)	16Ø14 (24,63)	234,85	4755,96	S	542,55	68,15	25,7
33Ø14 (50,8)	17Ø14 (26,17)	299,6	5181,14	S	560,86	68,15	16,94

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (401,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (401,0/647,3)
Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
647,3	590,0	18,0	10,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,4	
150,0	0,0	20,0	0,0	32,0	24,0	0,0	0,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,34	0,0	0,0	0,3	0,17	0,0	0,0
354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0

354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,4	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
24,0	0,27	0,0	0,0	0,25	0,11	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	647,3	590,0	0,88	0,51	609,1	609,1
2	590,0	480,0	4,88	1,8	529,32	536,52
3	480,0	370,0	7,9	1,5	421,49	426,81
4	370,0	260,0	10,92	1,2	312,46	317,26
5	260,0	150,0	13,95	0,91	203,01	208,0
6	150,0	0,0	34,99	2,31	65,06	61,16

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
150,0	0,0	20,0	180,0	32,0	24,0	0,0	180,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

µ	Kp	Kpx	Kpy
204,0	3,25	-2,97	-1,32

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150,0	0,0	-45,13	-15,18	50,0	50,0

Sollecitazioni total i

Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	73,52	8,22	116,72
Peso muro	0,0	303,44	-1309,32
Peso fondazione	0,0	147,49	-295,71
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	0,0	0,0
Spinte fondazione	-45,13	-15,18	-22,57
	28,39	**443,97**	**-1510,88**

Momento stabilizzante	-1638,02 kNm
Momento ribaltante	127,14 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	73,52 kN
Sommatoria forze verticali	459,15 kN
Coefficiente di attrito	0,62
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	459,15 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	73,52 kN
Resistenza terreno	332,04 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**4,11**

Traslazione verificata Csd>1,1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1638,02 kNm
Momento ribaltante	127,14 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**12,88**

Muro verificato a ribaltamento Csv>1,15

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	28,39 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	443,97 kN
Somma momenti	-1510,88 kNm
Larghezza fondazione	401,0 cm
Lunghezza	2000,0 cm
Eccentricità su B	139,81 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	32,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	150,0 cm

Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m³
Nq	23,18
Nc	35,49
Ng	30,21
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,04
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,88
ic	0,87
ig	0,82
Fattori di profondità	
dq	1,25
dc	1,36
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	875,56 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**1,41**

Carico limite verificato Csq>1,4

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	340,31 cm	
Larghezza della fondazione	401,0 cm	
x = 218,94 cm	0,00	kPa
x = 401,0 cm	487,72 kPa	

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
150,0	-45,13	39,99	29,89	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	45,13	1768,87	S	361,37	68,15	10,74

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

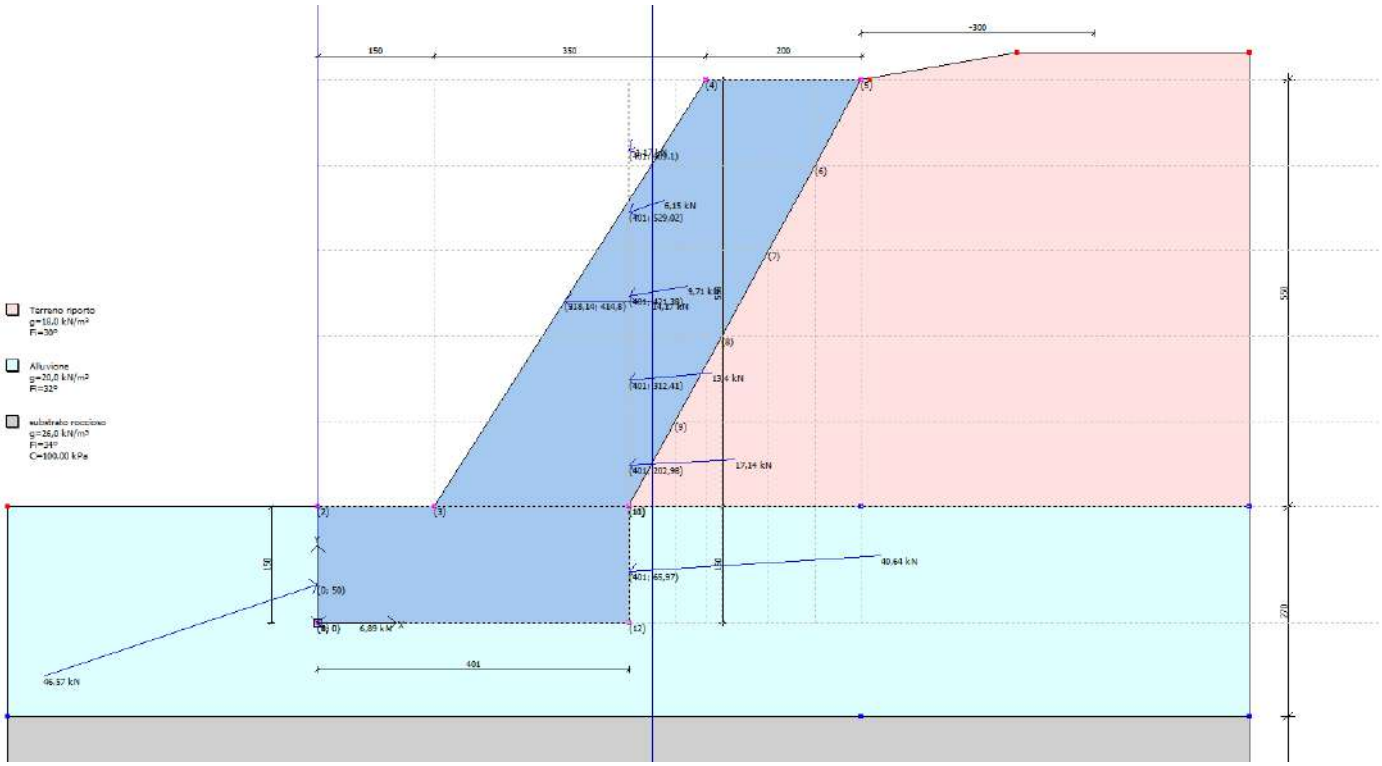
Xprogr.	Fx	Fy	M	H
400,0	34,99	4,63	-3,54	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	35,05	1761,71	S	361,37	68,15	92,8

3.2 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slv) – Condizione dinamica – Scogliera – SEZIONE 4 (cfr. TAV.6A)



FATTORI DI COMBINAZIONE

SISMA - SLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1,2
4	Ribaltamento	1

SISMA - SLV [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh **0,0467**
Coefficiente sismico verticale Kv **0,0234**

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
ß Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
700,0	590,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ Angolo di direzione della spinta.
Ka Coefficiente di spinta attiva.
Kd Coefficiente di spinta dinamica.
Dk Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
Qf Quota inizio strato.
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	700,0	590,0	1,86	-0,2	626,67	626,67
2	590,0	480,0	5,58	-0,59	528,89	528,89
3	480,0	370,0	9,3	-0,98	421,33	421,33

4	370,0	260,0	13,01	-1,37	312,38	312,38
5	260,0	150,0	16,73	-1,76	202,96	202,96

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
590,0	2,58	55,29	567,2	644,6
480,0	5,29	113,28	534,0	588,3
370,0	8,12	173,97	500,2	531,2
260,0	11,08	237,35	466,1	473,3
150,0	14,17	303,44	431,5	414,8

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
590,0	4,44	55,1	-15,47	210,0
480,0	12,73	112,5	-60,27	220,0
370,0	24,86	172,21	-131,68	230,0
260,0	40,83	234,23	-227,56	240,0
150,0	60,65	298,55	-344,96	250,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afv Area dei ferri lato valle.
Afm Area dei ferri lato monte.
Nu Sforzo normale ultimo (kN);
Mu Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
28Ø14 (43,1)	14Ø14 (21,55)	55,02	3487,01	S	481,63	68,15	123,79
29Ø14 (44,64)	15Ø14 (23,09)	112,41	3845,64	S	500,09	68,15	44,65
30Ø14 (46,18)	15Ø14 (23,09)	172,18	4220,42	S	518,49	68,15	23,6
32Ø14 (49,26)	16Ø14 (24,63)	234,24	4755,3	S	542,55	68,15	14,96
33Ø14 (50,8)	17Ø14 (26,17)	298,61	5180,01	S	560,86	68,15	10,37

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (401,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (401,0/647,3)

Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
647,3	590,0	18,0	10,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,4	
150,0	0,0	20,0	0,0	32,0	24,0	0,0	0,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,34	0,39	0,05	0,3	0,17	0,05	0,03
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,4	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
24,0	0,27	0,34	0,07	0,25	0,11	0,06	0,03

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	647,3	590,0	1,02	0,59	609,1	609,1
2	590,0	480,0	5,79	2,07	529,02	536,64
3	480,0	370,0	9,56	1,7	421,38	427,0
4	370,0	260,0	13,34	1,33	312,41	317,56
5	260,0	150,0	17,11	0,95	202,98	208,56
6	150,0	0,0	40,56	2,66	65,97	59,87

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
150,0	0,0	20,0	180,0	32,0	24,0	0,0	180,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

µ	Kp	Kpx	Kpy
204,0	3,16	-2,89	-1,29

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150,0	0,0	-44,17	-14,75	50,0	50,0

Sollecitazioni total i

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	87,38	9,29	143,03
Peso muro	14,17	303,44	-1250,54
Peso fondazione	6,89	147,49	-290,55
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	0,0	0,0
Spinte fondazione	-44,17	-14,75	-22,09
	64,26	**445,46**	**-1420,15**

Momento stabilizzante	-1642,28 kNm
Momento ribaltante	222,13 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	108,43 kN
Sommatoria forze verticali	460,21 kN
Coefficiente di attrito	0,62
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	460,21 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	108,43 kN
Resistenza terreno	331,75 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**3,06**

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1642,28 kNm
Momento ribaltante	222,13 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**7,39**

Muro verificato a ribaltamento Csv>1

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	64,26 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	445,46 kN
Somma momenti	-1420,15 kNm
Larghezza fondazione	401,0 cm
Lunghezza	2000,0 cm
Eccentricità su B	118,31 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	32,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	150,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m³
Nq	23,18
Nc	35,49
Ng	30,21
Fattori di forma	
sq	1,05
sc	1,05
sg	0,97
Inclinazione carichi	
iq	0,74
ic	0,73
ig	0,63
Fattori di profondità	
dq	1,25
dc	1,36
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	1056,6 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**1,98**

Carico limite verificato Csq>1,2

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	318,81 cm	
Larghezza della fondazione	401,0 cm	
x = 154,42 cm	0,00	kPa
x = 401,0 cm 361,31	kPa	

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
150,0	-44,17	40,42	30,29	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	44,15	1768,18	S	361,37	68,15	10,63

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
400,0	40,56	6,95	-3,74	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);

Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	40,59	1765,64	S	361,37	68,15	61,83

3.3 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slu) – Condizione statica – Scogliera – SEZIONE 7 (cfr. TAV.6B)

Dati generali

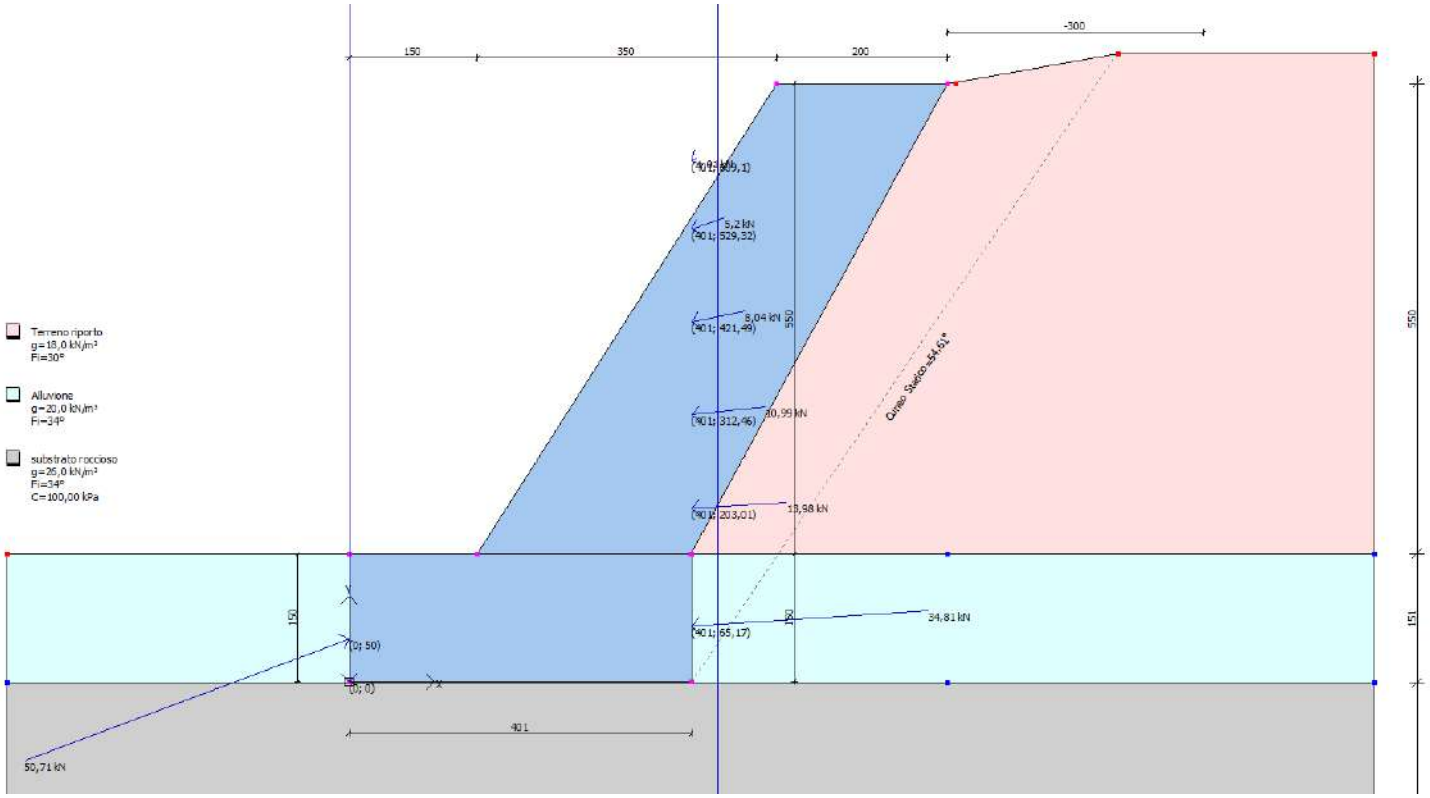
Data	24/05/2021
Condizioni ambientali	Ordinarie
Lat./Long. [WGS84]	44,073767/7,813466
Normativa GEO	NTC 2008
Normativa STR	NTC 2008
Spinta	Mononobe e Okabe [M.O. 1929]

Dati generali muro

Altezza muro	550,0 cm
Spessore testa muro	200,0 cm
Risega muro lato valle	350,0 cm
Risega muro lato monte	-300,0 cm
Sporgenza mensola a valle	150,0 cm
Sporgenza mensola a monte	1,0 cm
Svaso mensola a valle	0,0 cm
Altezza estremità mensola a valle	150,0 cm
Altezza estremità mensola a monte	150,0 cm

Stratigrafi a

Ns	Spessore strato (cm)	Inclinazione dello strato. (°)	Peso unità di volume (KN/m³)	Angolo di resistenza a taglio (°)	Coesione (kPa)	Angolo di attrito terra muro (°)	Presenza di falda (Si/No)	Litologia	Descrizione
1	550	0	18,00	30	0,00	23	No		Terreno riporto
2	151	0	20,00	34	0,00	26	Si		Alluvione
3	699	0	26,00	34	100,00	26	No		substrato roccioso



FATTORI DI COMBINAZIONE

A1+M1+R3

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,4
2	Scorrimento	1,1
3	Partecipazione spinta passiva	1,4
4	Ribaltamento	1,15

A1+M1+R3 [GEO+STR]

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
700,0	590,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,0	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	700,0	590,0	1,49	-0,16	626,67	626,67
2	590,0	480,0	4,46	-0,47	528,89	528,89
3	480,0	370,0	7,43	-0,78	421,33	421,33
4	370,0	260,0	10,4	-1,09	312,38	312,38

5	260,0	150,0	13,37	-1,41	202,96	202,96

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py Peso del muro (kN);
Px Forza inerziale (kN);
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
590,0	0,0	55,29	567,2	644,6
480,0	0,0	113,28	534,0	588,3
370,0	0,0	173,97	500,2	531,2
260,0	0,0	237,35	466,1	473,3
150,0	0,0	303,44	431,5	414,8

Sollecitazioni sul muro

Quota Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);
M Momento (kNm);
H Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
590,0	1,49	55,14	-17,06	210,0
480,0	5,94	112,66	-67,31	220,0
370,0	13,37	172,56	-148,96	230,0
260,0	23,77	234,86	-260,87	240,0
150,0	37,13	299,53	-401,06	250,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afv Area dei ferri lato valle.
Afm Area dei ferri lato monte.
Nu Sforzo normale ultimo (kN);
Mu Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
28Ø14 (43,1)	14Ø14 (21,55)	55,2	3487,18	S	481,63	68,15	370,14
29Ø14 (44,64)	15Ø14 (23,09)	112,59	3845,83	S	500,09	68,15	95,64
30Ø14 (46,18)	15Ø14 (23,09)	172,58	4220,84	S	518,49	68,15	43,88
32Ø14 (49,26)	16Ø14 (24,63)	234,85	4755,96	S	542,55	68,15	25,7
33Ø14 (50,8)	17Ø14 (26,17)	299,6	5181,14	S	560,86	68,15	16,94

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (401,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (401,0/647,3)
Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
647,3	590,0	18,0	10,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,4	
150,0	0,0	20,0	0,0	34,0	26,0	0,0	0,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,34	0,0	0,0	0,3	0,17	0,0	0,0
354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,39	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
354,4	0,14	0,0	0,0	0,14	-0,01	0,0	0,0
26,0	0,25	0,0	0,0	0,23	0,11	0,0	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	647,3	590,0	0,88	0,51	609,1	609,1
2	590,0	480,0	4,88	1,8	529,32	536,52
3	480,0	370,0	7,9	1,5	421,49	426,81
4	370,0	260,0	10,92	1,2	312,46	317,26
5	260,0	150,0	13,95	0,91	203,01	208,0
6	150,0	0,0	34,74	2,31	65,17	61,17

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
150,0	0,0	20,0	180,0	34,0	26,0	0,0	180,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Kp	Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy	Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

µ	Kp	Kpx	Kpy
206,0	3,54	-3,18	-1,55

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150,0	0,0	-47,49	-17,78	50,0	50,0

Sollecitazioni total i

Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	73,27	8,22	116,6
Peso muro	0,0	303,44	-1309,32
Peso fondazione	0,0	147,49	-295,71
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	0,0	0,0
Spinte fondazione	-47,49	-17,78	-23,75
	25,78	**441,36**	**-1512,18**

Momento stabilizzante -1638,01 kNm

Momento ribaltante 125,83 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	73,27 kN
Sommatoria forze verticali	459,15 kN
Coefficiente di attrito	0,67
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	459,15 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	73,27 kN
Resistenza terreno	357,19 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**4,43**

Traslazione verificata Csd>1,1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1638,01 kNm
Momento ribaltante	125,83 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**13,02**

Muro verificato a ribaltamento Csv>1,15

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	25,78 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	441,36 kN
Somma momenti	-1512,18 kNm
Larghezza fondazione	401,0 cm
Lunghezza	2000,0 cm
Eccentricità su B	142,12 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	34,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	150,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m³
Nq	29,44
Nc	42,16
Ng	41,06
Fattori di forma	
sq	1,04
sc	1,04
sg	0,98
Inclinazione carichi	
iq	0,89
ic	0,89
ig	0,84
Fattori di profondità	
dq	1,24
dc	1,36
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	1091,57 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**1,77**

Carico limite verificato Csq>1,4

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	342,62 cm	
Larghezza della fondazione	401,0 cm	
x = 225,85 cm	0,00	kPa
x = 401,0 cm 503,99	kPa	

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
150,0	-47,49	37,39	26,57	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	47,55	1770,59	S	361,37	68,15	11,49

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
400,0	34,74	4,47	-3,48	150,0

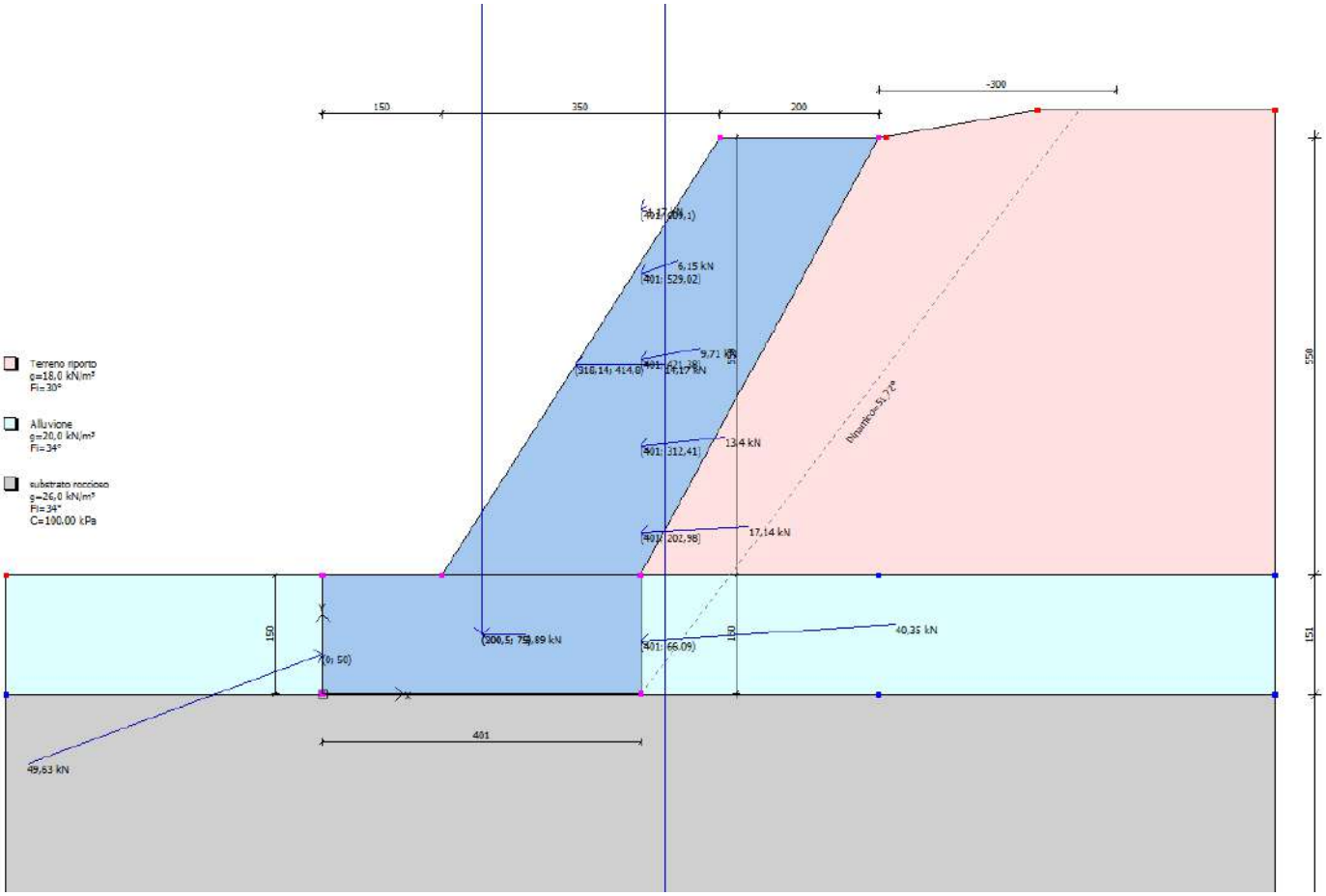
Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);

Sic. VT Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	34,73	1761,48	S	361,37	68,15	96,1

3.4 Verifiche Agli Stati Limite Ultimi (Slv) – Condizione dinamica – Scogliera – SEZIONE 7 (cfr. TAV.6B)



FATTORI DI COMBINAZIONE

SISMA_SLV

Nr.	Azioni	Fattore combinazione
1	Peso muro	1,00
2	Spinta terreno	1,00
3	Peso terreno mensola	1,00
4	Spinta falda	1,00
5	Spinta sismica in x	1,00
6	Spinta sismica in y	1,00

Nr.	Parametro	Coefficienti parziali
1	Tangente angolo res. taglio	1
2	Coesione efficace	1
3	Resistenza non drenata	1
4	Peso unità volume	1

Nr.	Verifica	Coefficienti resistenze
1	Carico limite	1,2
2	Scorrimento	1
3	Partecipazione spinta passiva	1,2
4	Ribaltamento	1

SISMA_SLV [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh **0,0467**
Coefficiente sismico verticale Kv **0,0234**

CALCOLO SPINTE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
ß Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
700,0	590,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,0	

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ Angolo di direzione della spinta.
Ka Coefficiente di spinta attiva.
Kd Coefficiente di spinta dinamica.
Dk Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,0	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.
Qf	Quota inizio strato.
Rpx, Rpy	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy)	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	700,0	590,0	1,86	-0,2	626,67	626,67
2	590,0	480,0	5,58	-0,59	528,89	528,89
3	480,0	370,0	9,3	-0,98	421,33	421,33
4	370,0	260,0	13,01	-1,37	312,38	312,38
5	260,0	150,0	16,73	-1,76	202,96	202,96

CARATTERISTICHE MURO (Peso, Baricentro, Inerzi a)

Py	Peso del muro (kN);
Px	Forza inerziale (kN);
Xp, Yp	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
590,0	2,58	55,29	567,2	644,6
480,0	5,29	113,28	534,0	588,3
370,0	8,12	173,97	500,2	531,2
260,0	11,08	237,35	466,1	473,3
150,0	14,17	303,44	431,5	414,8

Sollecitazioni sul muro

Quota	Origine ordinata minima del muro (cm).
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione di calcolo (cm);

Quota	Fx	Fy	M	H
590,0	4,44	55,1	-15,47	210,0
480,0	12,73	112,5	-60,27	220,0
370,0	24,86	172,21	-131,68	230,0
260,0	40,83	234,23	-227,56	240,0
150,0	60,65	298,55	-344,96	250,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afv	Area dei ferri lato valle.
Afm	Area dei ferri lato monte.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afv	Afm	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
28Ø14 (43,1)	14Ø14 (21,55)	55,02	3487,01	S	481,63	68,15	123,79
29Ø14 (44,64)	15Ø14 (23,09)	112,41	3845,64	S	500,09	68,15	44,65
30Ø14 (46,18)	15Ø14 (23,09)	172,18	4220,42	S	518,49	68,15	23,6
32Ø14 (49,26)	16Ø14 (24,63)	234,24	4755,3	S	542,55	68,15	14,96
33Ø14 (50,8)	17Ø14 (26,17)	298,61	5180,01	S	560,86	68,15	10,37

VERIFICHE GLOBALI

Piano di rottura passante per (xr1,yr1) = (401,0/0,0)
Piano di rottura passante per (xr2,yr2) = (401,0/647,3)
Centro di rotazione (xro,yro) = (0,0/0,0)

Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m³);
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
ß	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
647,3	590,0	18,0	10,0	30,0	30,0	0,0	0,0	
590,0	480,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
480,0	370,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
370,0	260,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,39	
260,0	150,0	18,0	10,0	30,0	23,0	0,0	331,4	
150,0	0,0	20,0	0,0	34,0	26,0	0,0	0,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ	Angolo di direzione della spinta.
Ka	Coefficiente di spinta attiva.
Kd	Coefficiente di spinta dinamica.
Dk	Coefficiente di incremento dinamico.
Kax, Kay	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
Dkx, Dky	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

µ	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
30,0	0,34	0,39	0,05	0,3	0,17	0,05	0,03
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,39	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
354,4	0,14	0,16	0,03	0,14	-0,01	0,03	0,0
26,0	0,25	0,32	0,07	0,23	0,11	0,06	0,03

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi	Quota inizio strato.

Qf Quota inizio strato.
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	647,3	590,0	1,02	0,59	609,1	609,1
2	590,0	480,0	5,79	2,07	529,02	536,64
3	480,0	370,0	9,56	1,7	421,38	427,0
4	370,0	260,0	13,34	1,33	312,41	317,56
5	260,0	150,0	17,11	0,95	202,98	208,56
6	150,0	0,0	40,26	2,67	66,09	59,83

SPINTE IN FONDAZIONE

Discretizzazione terreno

Qi Quota iniziale strato (cm);
Qf Quota finale strato
G Peso unità di volume (KN/m³);
Eps Inclinazione dello strato. (°);
Fi Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta Angolo attrito terra muro;
c Coesione (kPa);
ß Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	ß	Note
150,0	0,0	20,0	180,0	34,0	26,0	0,0	180,0	Falda

Coefficienti di spinta ed inclinazioni

µ Angolo di direzione della spinta.
Kp Coefficiente di resistenza passiva.
Kpx, Kpy Componenti secondo x e y del coefficiente di resistenza passiva.

µ	Kp	Kpx	Kpy
206,0	3,44	-3,09	-1,51

Spinte risultanti e punto di applicazione

Qi Quota inizio strato.
Qf Quota inizio strato.
Rpx, Rpy Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
Z(Rpx) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
Z(Rpy) Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	Qi	Qf	Rpx	Rpy	z(Rpx)	z(Rpy)
1	150,0	0,0	-46,51	-17,31	50,0	50,0

Sollecitazioni total i

Fx Forza in direzione x (kN);
Fy Forza in direzione y (kN);

M Momento (kNm);

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	87,08	9,3	142,84
Peso muro	14,17	303,44	-1250,54
Peso fondazione	6,89	147,49	-290,55
Sovraccarico	0,0	0,0	0,0
Terr. fondazione	0,0	0,0	0,0
Spinte fondazione	-46,51	-17,31	-23,26
	61,63	**442,91**	**-1421,51**

Momento stabilizzante	-1642,32 kNm
Momento ribaltante	220,81 kNm

Verifica alla traslazione

Sommatoria forze orizzontali	108,14 kN
Sommatoria forze verticali	460,22 kN
Coefficiente di attrito	0,67
Adesione	0,0 kPa
Angolo piano di scorrimento	-360,0 °
Forze normali al piano di scorrimento	460,22 kN
Forze parall. al piano di scorrimento	108,14 kN
Resistenza terreno	356,94 kN
Coeff. sicurezza traslazione Csd	**3,3**

Traslazione verificata Csd>1

Verifica al ribaltamento

Momento stabilizzante	-1642,32 kNm
Momento ribaltante	220,81 kNm
Coeff. sicurezza ribaltamento Csv	**7,44**

Muro verificato a ribaltamento Csv>1

Carico limite verticale VESIC

Somma forze in direzione x (Fx)	61,63 kN
Somma forze in direzione y (Fy)	442,91 kN
Somma momenti	-1421,51 kNm
Larghezza fondazione	401,0 cm
Lunghezza	2000,0 cm
Eccentricità su B	120,44 cm
Peso unità di volume	20,0 KN/m³
Angolo di resistenza al taglio	34,0 °
Coesione	0,0 kPa
Terreno sulla fondazione	150,0 cm
Peso terreno sul piano di posa	18,0 KN/m³
Nq	29,44
Nc	42,16
Ng	41,06
Fattori di forma	
sq	1,05
sc	1,06
sg	0,97

Inclinazione carichi	
iq	0,75
ic	0,74
ig	0,65
Fattori di profondità	
dq	1,25
dc	1,37
dg	1,0
Carico limite verticale (Qlim)	1340,22 kN
Fattore sicurezza (Csq=Qlim/Fy)	**2,52**

Carico limite verificato Csq>1,2

Tensioni sul terreno

Ascissa centro sollecitazione	320,94 cm	
Larghezza della fondazione	401,0 cm	
x = 160,83 cm	0,00	kPa
x = 401,0 cm 368,84	kPa	

MENSOLA A VALLE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);
H	Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
150,0	-46,51	37,86	27,05	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U .)

Afi	Area dei ferri inferiori.
Afs	Area dei ferri superiori.
Nu	Sforzo normale ultimo (kN);
Mu	Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd	Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd	Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT	Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu	Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd	Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	46,42	1769,79	S	361,37	68,15	11,34

MENSOLA A MONTE

Xprogr.	Ascissa progressiva (cm);
Fx	Forza in direzione x (kN);
Fy	Forza in direzione y (kN);
M	Momento (kNm);

H Altezza sezione (cm);

Xprogr.	Fx	Fy	M	H
400,0	40,26	6,89	-3,67	150,0

Armature - Verifiche sezioni (S.L.U.)

Afi Area dei ferri inferiori.
Afs Area dei ferri superiori.
Nu Sforzo normale ultimo (kN);
Mu Momento flettente ultimo (kNm);
Vcd Resistenza a taglio conglomerato Vcd (kN);
Vwd Resistenza a taglio piegati (kN);
Sic. VT Misura Sicurezza Taglio (Vcd+Vwd)/Vsdu (Verificato se >=1).
Vsdu Taglio di calcolo (kN);

Afi	Afs	Nu	Mu	Ver.	Vcd		Vwd	Sic. VT
12Ø14 (18,47)	20Ø14 (30,79)	40,26	1765,41	S	361,37	68,15	62,36	

4. VERIFICHE DI STABILITA' GLOBALE

Per verificare l'influenza dell'opera di consolidamento in progetto sull'assetto idrogeologico del tratto di versante interessato, **sono state rieseguite le verifiche di stabilità globale del pendio**, **rispetto alla nuova conformazione morfologica di progetto, in riferimento alle due sezioni suddette (sezione 4 e 7) che comprende un unghia di fondazione e la platea basale in cls come accorgimenti tecnici antierosione.**

Le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto Rd/Ed.
La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)
in cui i coefficienti A2 sono moltiplicativi delle azioni e i coefficienti M2 ed R2 sono rispettivamente riduttivi dei parametri di resistenza e della resistenza globale del sistema.

Le procedure di calcolo per l'analisi di stabilità globale del pendio, calcolate mediante l'impiego del **software SLOPE distribuito dalla soc. Geostru**, consistono nella stima di un

coefficiente di sicurezza Fs alla traslazione e/o rotazione del volume compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*).

Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$, $\Sigma M_0 = 0$, Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i \right\} \times \dfrac{\sec\alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin\alpha_i}$$

I valori di *F* e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di ***Bishop ordinario,*** gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

4.1 Stabilità Globale – Stato di Progetto – Sezione 4 (cfr. TAV.6A)

Si è considerata (lungo la traccia della sezione 4 progettuale), la condizione di stabilità globale del pendio ove prevista la realizzazione della scogliera come opera principale di difesa del tratto spondale, con un unghia di fondazione di spessore 1.5m.

Si è assunto un angolo di attrito della scogliera pari a 50° in relazione alla natura dei massi levigati arenareo-quarzitici presenti in alveo, che saranno utilizzati per la formazione della scogliera come indicato nella relazione geologica; la coesione della scogliera è stata considerata pari a 2.5 kg/cmq considerando la presenza del calcestruzzo come legante.

Soprastante la scogliera è prevista la realizzazione di una palificata doppia in legname come ulteriore opera di consolidamento e modellazione del tratto di pendio in oggetto.

Nella successione stratigrafica è stato considerato il contributo dei massi ciclopici presenti all'interno del deposito di paleofrana ed alla base del pendio sul limite spondale.

È stata considerata la presenza della falda di subalveo del corso d'acqua.

Si è così delineata una situazione di globale stabilità della sponda in studio (tutte le superfici circolari presentano un Fs>1, con valore minimo Fs=1.37) dovuta alla presenza della roccia sottofondazionale;

Di seguito sono esposti i risultati delle verifiche di stabilità svolte con l'analisi della superficie critica con Fs minore:

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,072786/7,812402
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	13,59 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,87 m
Ascissa vertice destro superiore xs	22,13 m
Ordinata vertice destro superiore ys	11,57 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0563
Coefficiente azione sismica verticale	0,0281

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	
1	0		30	18	20	riporto	
2	0		32	18	20	alluvione	
3	10		30	22	23	paleofrana	
4	100		34	26	26	substrato roccioso	

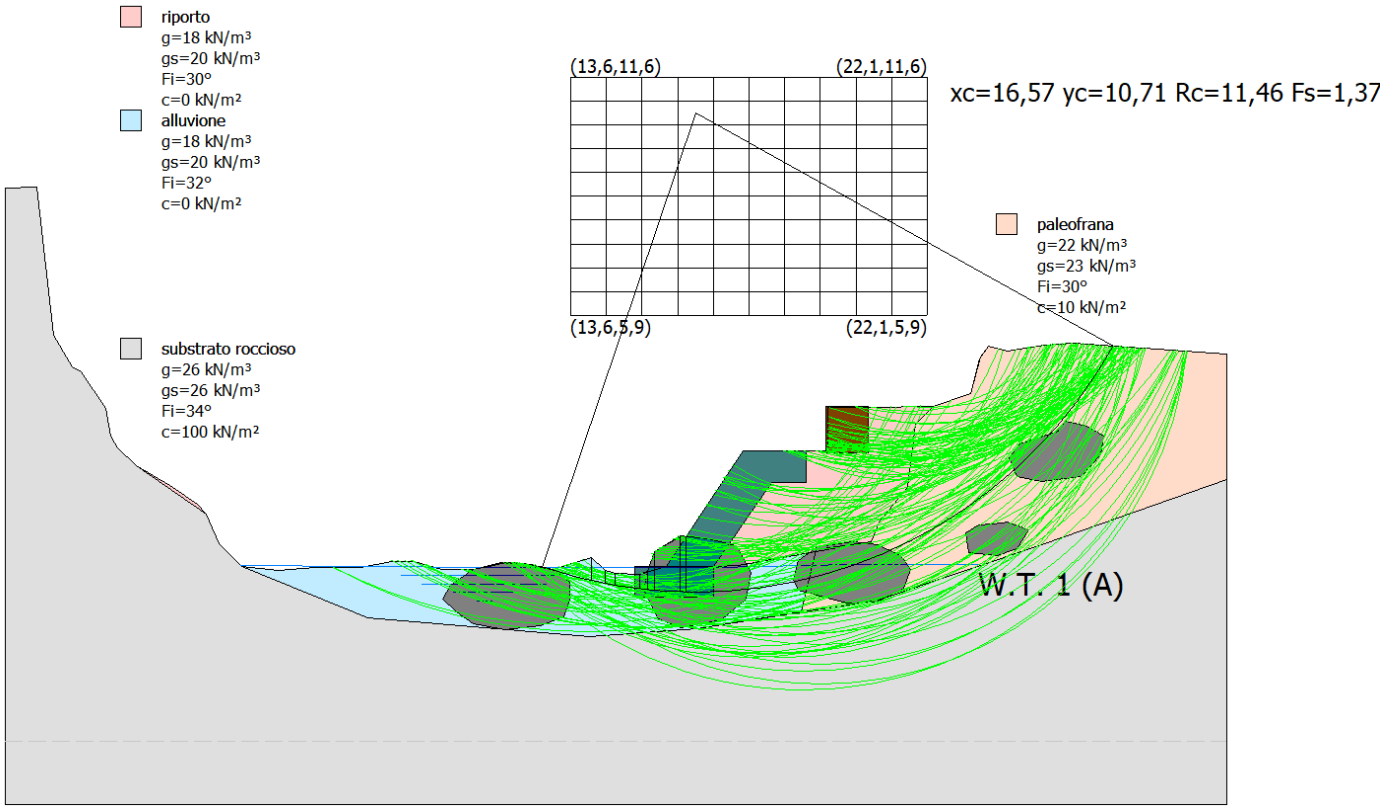
Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**1,37**
Ascissa centro superficie	16,57 m
Ordinata centro superficie	10,71 m
Raggio superficie	11,46 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 16,575 yc = 10,712 Rc = 11,456 Fs=1,37

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,26	-18,0	0,27	0,03	0,0	0,0	100,0	50,0	0,1	7,9	24,2
2	0,93	-15,0	0,96	5,47	0,31	0,15	0,0	26,6	2,0	4,0	1,3
3	0,34	-11,7	0,34	2,93	0,17	0,08	0,0	26,6	1,2	1,9	0,6
4	0,22	-10,3	0,22	0,69	0,04	0,02	0,0	26,6	0,9	0,7	0,2
5	0,61	-8,2	0,61	2,1	0,12	0,06	0,0	26,6	2,9	2,2	0,7
6	0,19	-6,2	0,19	0,81	0,05	0,02	100,0	50,0	1,0	2,4	14,8
7	0,15	-5,3	0,16	2,09	0,12	0,06	100,0	50,0	0,8	2,4	12,2
8	0,61	-3,4	0,61	13,34	0,75	0,37	100,0	50,0	3,5	12,9	50,9
9	0,15	-1,5	0,15	3,9	0,22	0,11	100,0	50,0	0,9	3,3	12,8
10	10,23	29,9	11,8	664,01	37,38	18,66	8,0	24,8	0,0	620,6	252,8



In condizioni statiche, non considerando il contributo dei coefficienti sismici, si sono ottenuti logicamente valori di Fs maggiori il cui più basso è risultato:

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**1,56**
Ascissa centro superficie	16,57 m
Ordinata centro superficie	10,71 m
Raggio superficie	11,46 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 16,575 yc = 10,712 Rc = 11,456 Fs=1,564

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,26	-18,0	0,27	0,03	0,0	0,0	100,0	50,0	0,1	6,6	20,3
2	0,93	-15,0	0,96	5,47	0,0	0,0	0,0	26,6	2,0	3,9	1,1
3	0,34	-11,7	0,34	2,93	0,0	0,0	0,0	26,6	1,2	1,9	0,5
4	0,22	-10,3	0,22	0,69	0,0	0,0	0,0	26,6	0,9	0,7	0,2
5	0,61	-8,2	0,61	2,1	0,0	0,0	0,0	26,6	2,9	2,2	0,6
6	0,19	-6,2	0,19	0,81	0,0	0,0	100,0	50,0	1,0	2,2	12,8
7	0,15	-5,3	0,16	2,09	0,0	0,0	100,0	50,0	0,8	2,2	10,6
8	0,61	-3,4	0,61	13,34	0,0	0,0	100,0	50,0	3,5	12,5	44,3
9	0,15	-1,5	0,15	3,9	0,0	0,0	100,0	50,0	0,9	3,3	11,2
10	10,23	29,9	11,8	664,01	0,0	0,0	8,0	24,8	0,0	636,2	225,6

Sono state quindi verificate le condizioni di stabilità secondo le NTC 2018, applicando quindi le combinazioni imposte dalla normativa (A2-M2-R2) sia in condizioni dinamiche che statiche, con valori di Fs maggiori a Fs=1.0, ovvero è stata verificata la condizione Ed ≤ Rd (Ed=azioni Rd= resistenza del terreno).

4.2 Stabilità Globale – Stato di Progetto – Sezione 7 (cfr. TAV.6B)

Si è considerata (lungo la traccia della sezione 7 progettuale), la condizione di stabilità globale del pendio in prossimità dell'edificio del vecchio mulino, ove è prevista la realizzazione di una scogliera come opera principale di difesa del tratto spondale; l'unghia di fondazione lungo questo tratto sarà basata sul substrato roccioso, affiorante lungo la sponda.

Si è assunto un angolo di attrito della scogliera pari a 50° in relazione alla natura dei massi levigati arenareo-quarzitici presenti in alveo, che saranno utilizzati per la formazione della scogliera come indicato nella relazione geologica; la coesione della scogliera è stata considerata pari a 2.5 kg/cmq considerando la presenza del calcestruzzo come legante.

Soprastante la scogliera sono previste la realizzazione di due gradonature costituite da palificate doppie in legname come ulteriore opera di consolidamento e modellazione del tratto di pendio in oggetto.

Nella successione stratigrafica è stato considerato il contributo dei massi ciclopici presenti all'interno del deposito di paleofrana ed alla base del pendio sul limite spondale.

È stata considerata la presenza della falda di subalveo del corso d'acqua.

Si è così delineata una situazione di globale stabilità della sponda in studio (tutte le superfici circolari presentano un Fs>1, con valore minimo Fs=1.57) dovuta alla presenza della roccia sottofondazionale;

Di seguito sono esposti i risultati delle verifiche di stabilità svolte con l'analisi della superficie critica con Fs minore:

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44,072786/7,812402
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	4,0
Numero dei conci	10,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,3
Coefficiente parziale resistenza	1,1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9,29 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5,17 m
Ascissa vertice destro superiore xs	16,38 m
Ordinata vertice destro superiore ys	9,26 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,0563
Coefficiente azione sismica verticale	0,0281

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m²)	Coesione non drenata (kN/m²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m³)	Peso saturo (kN/m³)	Litologia	
1	0		30	18	20	riporto	
2	0		32	18	20	alluvione	
3	10		30	22	23	paleofrana	
4	100		34	26	26	substrato roccioso	

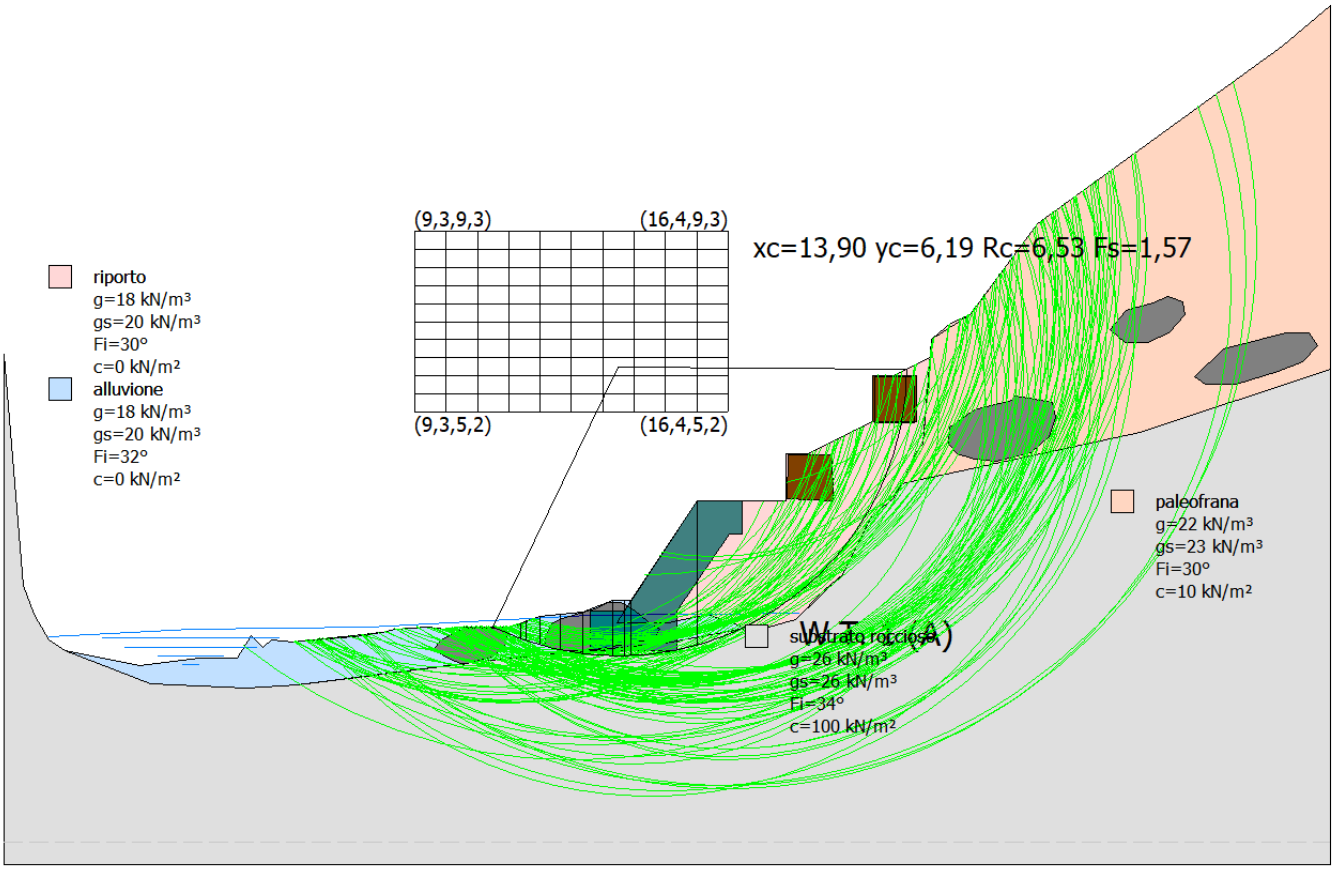
Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	**1,57**
Ascissa centro superficie	13,9 m
Ordinata centro superficie	6,19 m
Raggio superficie	6,53 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 13,897 yc = 6,194 Rc = 6,53 Fs=1,57

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,61	-22,8	0,66	0,85	0,05	0,02	0,0	26,6	1,8	1,0	0,3
2	0,14	-19,2	0,15	0,54	0,03	0,02	0,0	26,6	0,6	0,6	0,2
3	0,3	-17,2	0,32	1,65	0,09	0,05	0,0	26,6	1,6	1,9	0,6
4	0,46	-13,7	0,47	6,6	0,37	0,19	0,0	26,6	3,0	3,9	1,1
5	0,51	-9,4	0,51	8,73	0,49	0,25	0,0	26,6	4,0	5,1	1,5
6	0,68	-4,2	0,69	15,17	0,85	0,43	80,0	28,4	0,0	17,9	37,4
7	0,26	0,0	0,26	6,55	0,37	0,18	80,0	28,4	0,0	6,6	14,1
8	0,14	1,8	0,14	3,68	0,21	0,1	80,0	28,4	0,0	3,4	7,8
9	1,5	9,0	1,51	66,22	3,73	1,86	80,0	28,4	0,0	53,2	86,8
10	4,76	52,7	7,85	262,77	14,79	7,38	0,0	24,8	0,0	320,8	85,8



In condizioni statiche, non considerando il contributo dei coefficienti sismici, si sono ottenuti logicamente valori di Fs maggiori il cui più basso è risultato:

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2] – Condizione statica

Fs minimo individuato	**1,74**
Ascissa centro superficie	13,9 m
Ordinata centro superficie	6,19 m
Raggio superficie	6,53 m

xc = 13,897 yc = 6,194 Rc = 6,53 Fs=1,743

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kN)	Kh•Wi (kN)	Kv•Wi (kN)	c (kN/m²)	Fi (°)	Ui (kN)	N'i (kN)	Ti (kN)
1	0,61	-22,8	0,66	0,85	0,0	0,0	0,0	26,6	1,8	1,0	0,3
2	0,14	-19,2	0,15	0,54	0,0	0,0	0,0	26,6	0,6	0,6	0,2
3	0,3	-17,2	0,32	1,65	0,0	0,0	0,0	26,6	1,6	1,9	0,5
4	0,46	-13,7	0,47	6,6	0,0	0,0	0,0	26,6	3,0	3,9	1,0
5	0,51	-9,4	0,51	8,73	0,0	0,0	0,0	26,6	4,0	5,1	1,3
6	0,68	-4,2	0,69	15,17	0,0	0,0	80,0	28,4	0,0	17,7	33,6
7	0,26	0,0	0,26	6,55	0,0	0,0	80,0	28,4	0,0	6,6	12,7
8	0,14	1,8	0,14	3,68	0,0	0,0	80,0	28,4	0,0	3,5	7,0
9	1,5	9,0	1,51	66,22	0,0	0,0	80,0	28,4	0,0	54,6	78,5
10	4,76	52,7	7,85	262,77	0,0	0,0	0,0	24,8	0,0	329,3	79,3

Sono state quindi verificate le condizioni di stabilità secondo le NTC 2018, applicando quindi le combinazioni imposte dalla normativa (A2-M2-R2) sia in condizioni dinamiche che statiche, con valori di Fs maggiori a Fs=1.0, ovvero è stata verificata la condizione Ed ≤ Rd (Ed=azioni Rd= resistenza del terreno).

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati illustrati i risultati delle verifiche agli stati limite ultimi e di stabilità relative all'opera di sostegno del tipo scogliera in massi cementati, prevista per il progetto di sistemazione di un tratto della sponda sinistra in erosione e del fondo dell'alveo del Torrente Arroscia, in località Mulino nel Comune di Mendatica.

Le verifiche hanno fatto riferimento all'attuale normativa vigente, il DM 17/01/2018 e secondo i risultati ottenuti risulta che tutte le verifiche effettuate sono soddisfatte, ovvero l'opera risulta verificata al ribaltamento, allo scorrimento, al carico ultimo ed alla stabilità globale, con i fattori di sicurezza riassunti nelle seguenti tabelle sinottiche:

Sezione 4

Scogliera	Ribaltamento	Scorrimento	Carico Limite	Stabilità globale
Fs cond. Statica	12.88	4.11	1.41	1.56
Fs cond. Dinamica	7.39	3.06	1.98	1.37

Sezione 7

Scogliera	Ribaltamento	Scorrimento	Carico Limite	Stabilità globale
Fs cond. Statica	13.02	4.43	1.77	1.74
Fs cond. Dinamica	7.44	3.3	2.52	1.57

Si precisa che i parametri geotecnici utilizzati nelle verifiche derivano sia dall'esecuzione di prove di laboratorio su campioni di terreno che da prove geotecniche in foro di sondaggio (n.18 sondaggi e n.3 pozzi geognostici), svolte a supporto delle varie campagne geognostiche sullo studio della paleofrana di Mendatica.

Si rimane a disposizione della Direzione Lavori per il supporto geologico durante la fase di cantiere.

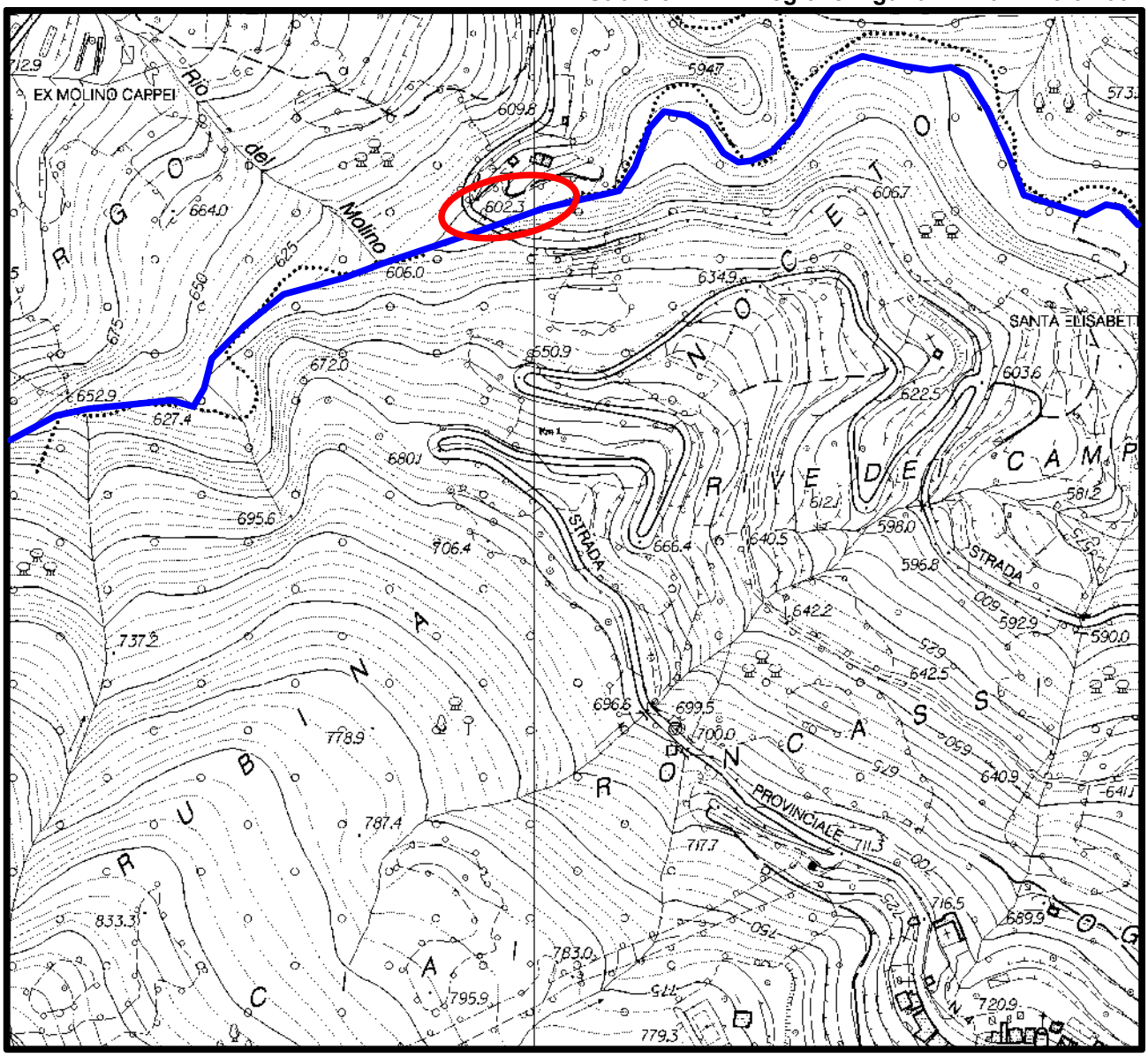
Geol. Arrighetti Fabio

Geol. Macciò M. Roberto

TAV.1 - COROGRAFIA - Scala 1:5.000

Oggetto: ripristino officiosità idraulica e messa in sicurezza dei versanti
Località: Antico Mulino - Comune di Mendatica (IM)
Committente: Comune di Mendatica (IM)

Stralcio C.T.R. Regione Liguria 244102 - Volo 2002



Ubicazione tratto della sponda oggetto di intervento di consolidamento

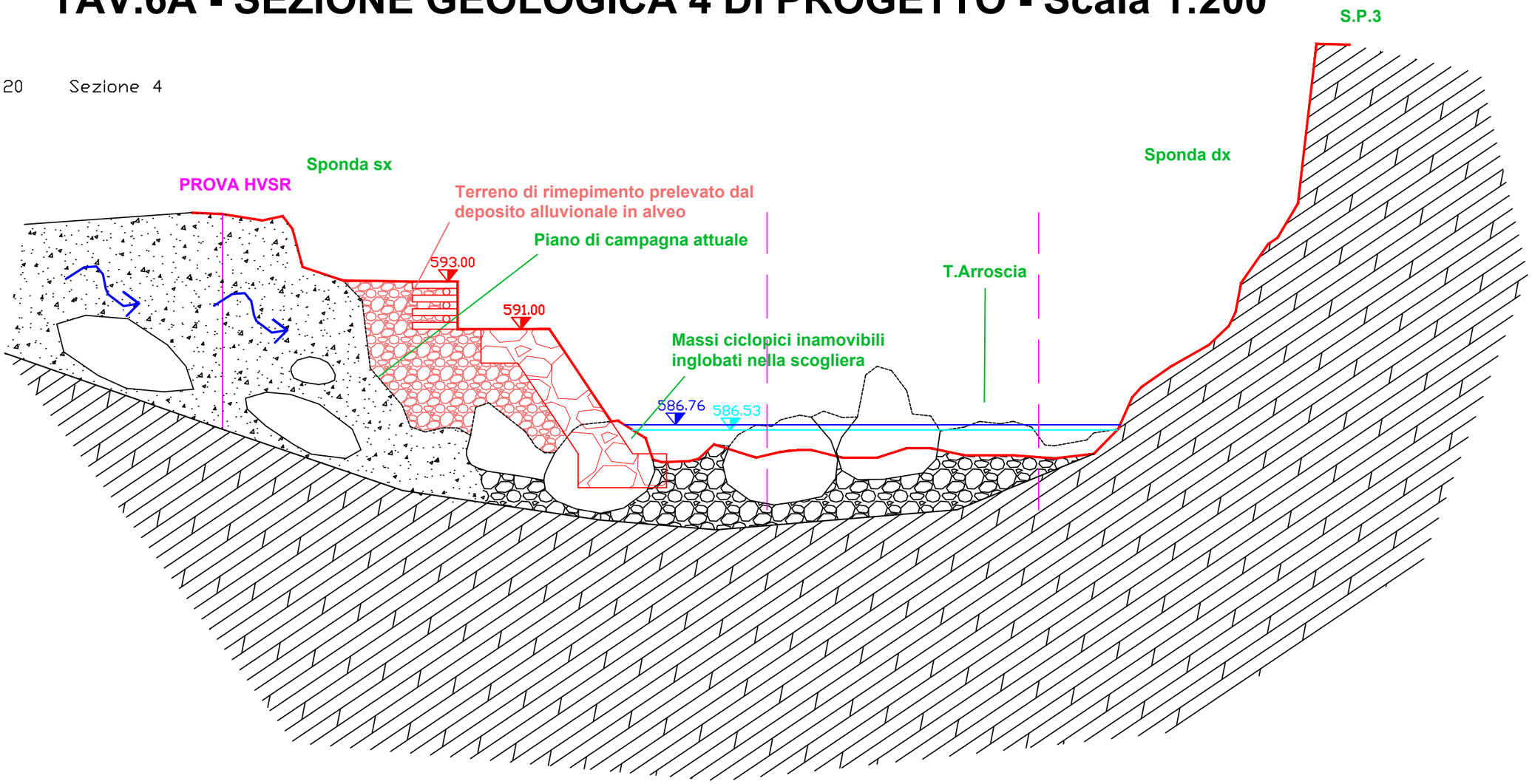
N

Corso d'acqua T.Arroscia

Studio di Geologia MACCIÒ M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.6A - SEZIONE GEOLOGICA 4 DI PROGETTO - Scala 1:200

RS = 20 Sezione 4



Deposito di paleofrana a matrice limoso - argillosa contenente detriti litoidi arrotondati eterometrici a litologia calcarea ed arenacea con blocchi a volume plurimetrico

Deposito alluvionale alveo attivo a matrice ghiaioso - sabbiosa con blocchi litoidi arrotondati arenacei con volume sino a plurimetrico

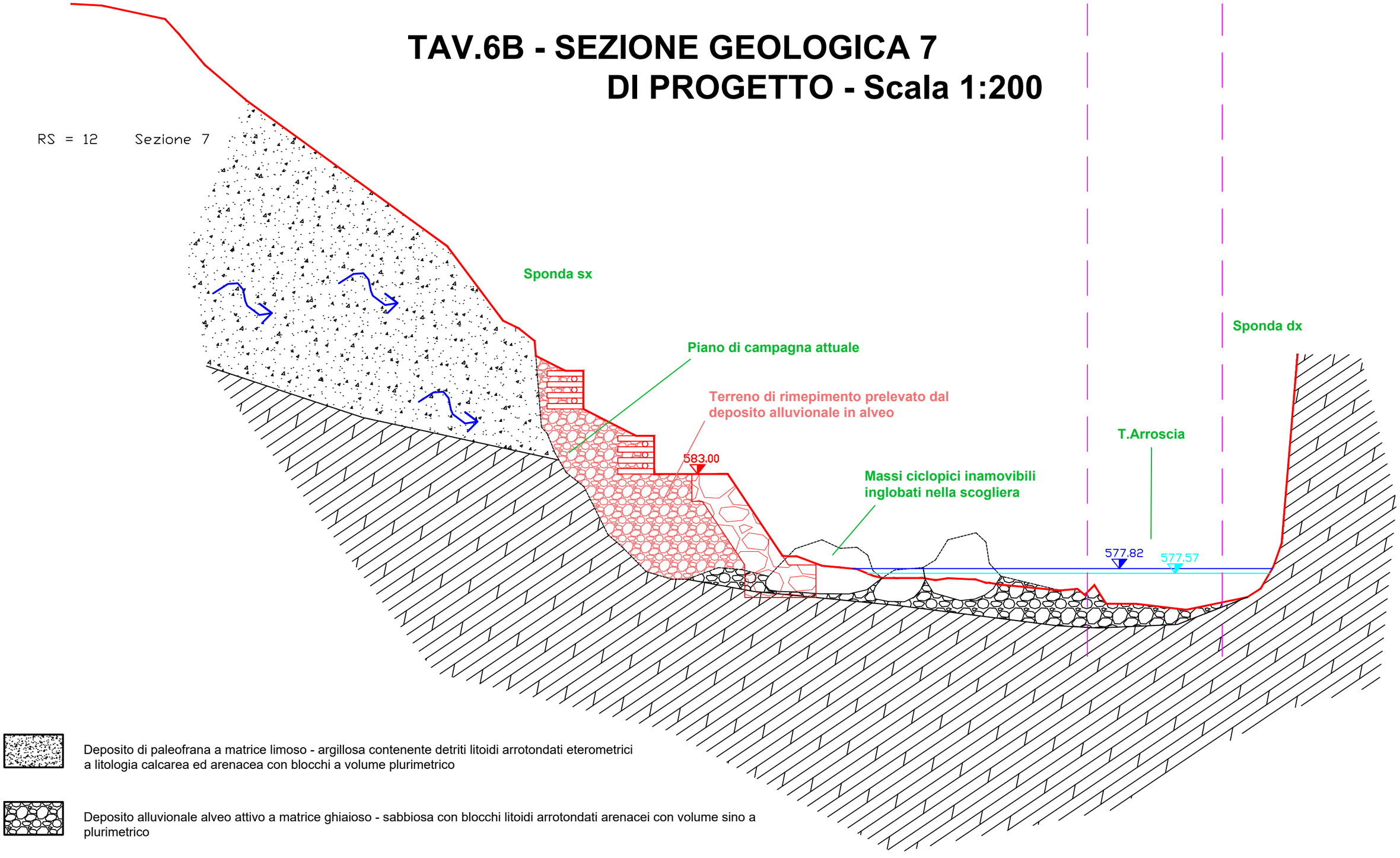
Substrato roccioso (Form. di Testico - Membro di Pieve di Teco) calcari marnosi, stratificati e interessati da giunti di fratturazione

Scorrimenti idrici che si attivano nel deposito di paleofrana a seguito di eventi pluviometrici

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)

TAV.6B - SEZIONE GEOLOGICA 7
DI PROGETTO - Scala 1:200

RS = 12 Sezione 7



Deposito di paleofrana a matrice limoso - argillosa contenente detriti litoidi arrotondati eterometrici a litologia calcarea ed arenacea con blocchi a volume plurimetrico

Deposito alluvionale alveo attivo a matrice ghiaioso - sabbiosa con blocchi litoidi arrotondati arenacei con volume sino a plurimetrico

Substrato roccioso (Form. di Testico - Membro di Pieve di Teco) calcari marnosi, stratificati e interessati da giunti di fratturazione

Scorrimenti idrici che si attivano nel deposito di paleofrana a seguito di eventi pluviometrici

Studio di Geologia MACCIO' M. Roberto Via Bellò 4/A -San Fedele 17031 Albenga (SV)