



# COMUNE DI LONGOBARDI

(Provincia di Cosenza)

## MESSA IN SICUREZZA DELLA SPONDA DESTRA IDROGRAFICA, RISCHIO PAI R4, TORRENTE CORDARI IN LOCALITA' FRAILLITI

### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

#### Arch. Francesco ARCURI

Via Cassiodoro, n. 3  
87023 Diamante (CS)  
Cell.: +39 338 4618518  
Email: studioarch.arcuri@libero.it

#### Ing. Danilo MAGURNO

C/da Foresta, n. 9  
87020 Maierà (CS)  
Cell.: +39 327 4954405  
Email: danilomagurno@hotmail.it

#### Geom. Dario ABATE

Via Varone Sottano, n. 10  
87030 Longobardi (CS)  
Cell.: +39 331 5251541  
Email: dabate@tiscali.it



### COMMITTENTE

Amministrazione Comunale di Longobardi (CS)

Piazza Miceli, n. 1  
87030 Longobardi (CS)

Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Salvatore CARNEVALE

### TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI

### N. ELABORATO

2.8

### CODICE ELABORATO

PD REL.09

### SCALA

-

PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Elaborazione del progetto: Dicembre 2020

### Visti e approvazioni:



## INDICE

1.	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	3
2.	CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA .....	3
2.1	COULOMB .....	3
2.2	RANKINE .....	4
2.3	MONONOBE & OKABE .....	4
2.4	CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI .....	5
2.5	EFFETTO DOVUTO ALLA COESIONE .....	7
2.6	CARICO UNIFORME SUL TERRAPIENO .....	8
2.7	SPINTA ATTIVA IN CONDIZIONI SISMICHE .....	8
2.8	SPINTA IDROSTATICA .....	9
3.	RESISTENZA PASSIVA .....	9
4.	CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI .....	10
4.1	VESIC - ANALISI A BREVE TERMINE .....	10
4.2	VESIC - ANALISI A LUNGO TERMINE .....	11
4.3	HANSEN - ANALISI A BREVE TERMINE .....	12
4.4	HANSEN- ANALISI A LUNGO TERMINE .....	12
5.	SOLLECITAZIONI MURO E SCHEMA STATICO .....	13
6.	SOLLECITAZIONI MURO E SCHEMA STATICO .....	15
6.1	ANALISI DEL PALO IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO: MODELLO DI WINKLER .....	15
6.2	CARICO LIMITE VERTICALE .....	16
6.3	RESISTENZA UNITARIA ALLA PUNTA .....	16
6.4	RESISTENZA DEL FUSTO .....	16
6.5	CEDIMENTI .....	18
7.	CARATTERISTICHE CODICE DI CALCOLO .....	19
8.	MURO SU PALI $H_{max} = 1.20$ m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR] .....	19
8.1	CALCOLO SPINTE .....	19
8.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO .....	20
8.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	22

9.	MURO SU PALI Hmax = 1.20 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR] .....	24
9.1	CALCOLO SPINTE .....	24
9.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO.....	25
9.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	27
10.	MURO SU PALI Hmax = 1.50 m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR] .....	29
10.1	CALCOLO SPINTE .....	29
10.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO.....	30
10.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	32
11.	MURO SU PALI Hmax = 1.50 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR] .....	33
11.1	CALCOLO SPINTE .....	33
11.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO.....	34
11.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	37
12.	MURO SU PALI Hmax = 2.20 m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR] .....	38
12.1	CALCOLO SPINTE .....	38
12.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO.....	39
12.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	41
13.	MURO SU PALI Hmax = 2.20 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR] .....	43
13.1	CALCOLO SPINTE .....	43
13.2	VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO.....	44
13.3	VERIFICHE PALI TRIVELLATI .....	46

## 1. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

- NTC 2018 - *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 17 gennaio 2018;
- CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 - *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 (GU n. 35 del 11.02.2019 - Suppl. Ordinario n. 5);
- EUROCODICE 7 – “Progettazione geotecnica” - ENV 1997-1, per quanto non in contrasto con le disposizioni del D.M. 2018.

## 2. CALCOLO DELLA SPINTA ATTIVA

### 2.1 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:

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

Valori limite di  $K_a$ :

- $d < (b - \varphi - \epsilon)$  secondo Muller-Breslau;
- $g_t$  = Peso unità di volume del terreno;

- $b$  = Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;
- $j$  = Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- $d$  = Angolo di attrito terra-muro;
- $e$  = Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- $H$  = Altezza della parete.

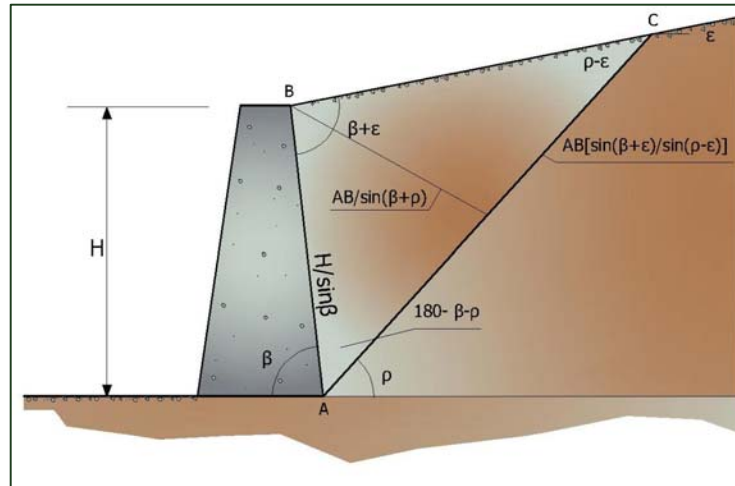


Fig. 1: Cuneo di rottura usato per la derivazione dell'equazione di Coulomb relativa alla pressione attiva.

## 2.2 RANKINE

Se  $e = d = 0$  e  $b = 90^\circ$  (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:

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

## 2.3 MONONOBÉ & 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  $e$ , di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo  $b$ , di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità  $\theta$  tale che:

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

con  $k_h$  coefficiente sismico orizzontale e  $k_v$  verticale.

#### 2.4 CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Nelle verifiche, i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni (NTC 2018):

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

dove

- $\beta_m$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  = accelerazione di gravità.

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

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

dove

- $S$  = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ), di cui al § 3.2.3.2;
- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Nella precedente espressione, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito è pari a:

- $\beta_m = 0.38$  nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLV);
- $\beta_m = 0.47$  nelle verifiche allo stato limite di esercizio (SLD).

Per muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario. I valori del coefficiente  $\beta_m$  possono essere incrementati in ragione di particolari caratteristiche prestazionali del muro, prendendo a riferimento il diagramma di Figura 7.11.3 di cui al successivo § 7.11.6.3.2 (NTC 2018).

Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica. Negli altri casi, in assenza di specifici studi, si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

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

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

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

- $\beta_m$  = 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  $\beta_m$  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;
- $\gamma_I$  = fattore di importanza;
- $S$  = Soil factor dipendente 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:

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

## 2.5 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:

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

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  $H/2$ .

## 2.6 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*.

## 2.7 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;
- $g$  = 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  $\theta$  della formula di Mononobe & Okabe così come di seguito:

$$\tan \theta = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp k_v}$$

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.

## 2.8 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  $g_t$  con  $g'_t$  ( $g'_t = g_{saturo} - g_w$ ), peso efficace del materiale immerso in acqua.

## 3. 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  $\delta$  pari a:

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

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

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

#### 4. CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI

##### 4.1 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:

- $A' = B' L'$  è 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;

$$s_c = 0.2 \cdot \left( \frac{B'}{L'} \right) \text{ per fondazioni rettangolari, mentre per fondazioni nastriformi il valore di } s_c$$

viene assunto pari ad 1;

- $d_c$  = fattore di profondità;

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

- $i_c$  = 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.

#### 4.2 VESIC - ANALISI A LUNGO TERMINE

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

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

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left( 45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

**Fattori di forma**

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

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

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

**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

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

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

$$d_\gamma = 1$$

## 4.3 HANSEN - ANALISI A BREVE TERMINE

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

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;

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

- $i_c$  = 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.

## 4.4 HANSEN- ANALISI A LUNGO TERMINE

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

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

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

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

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

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

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \quad \text{per fondazione nastriforme}$$

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

$$i_q = \left( 1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^5$$

$$i_\gamma = \left( 1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^5$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

### Fattori di profondità

$$d_c = 1 + 0.4K$$

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

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

$$d_\gamma = 1$$

## 5. SOLLECITAZIONI MURO E SCHEMA STATICO

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.

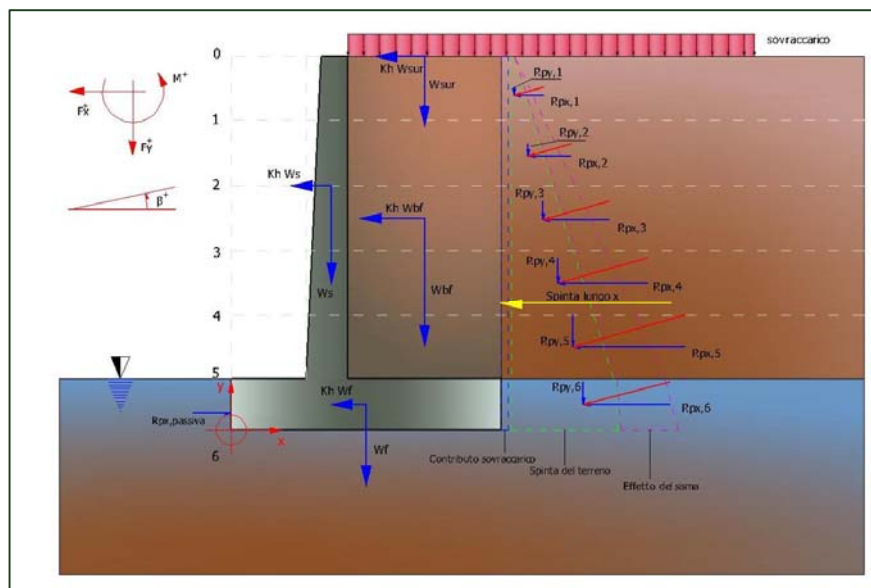


Fig. 2: Schema delle forze agenti su un muro e convenzioni sui segni

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.

Di seguito si riporta la convenzione sui 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.

Lo schema statico utilizzato per il calcolo delle caratteristiche di sollecitazioni è quello della trave incastrata (Fig. 3): la mensola di elevazione può essere caricata da carichi distribuiti (spinta attiva del terreno, contributo del sovraccarico, incremento di spinta per la presenza di falda, incremento di spinta per effetto del sisma...), ma anche da carichi concentrati (forze inerziali, azioni aggiuntive sulla sezione del muro, tiranti...). Il momento flettente delle azioni viene riferito al baricentro della generica sezione di verifica.



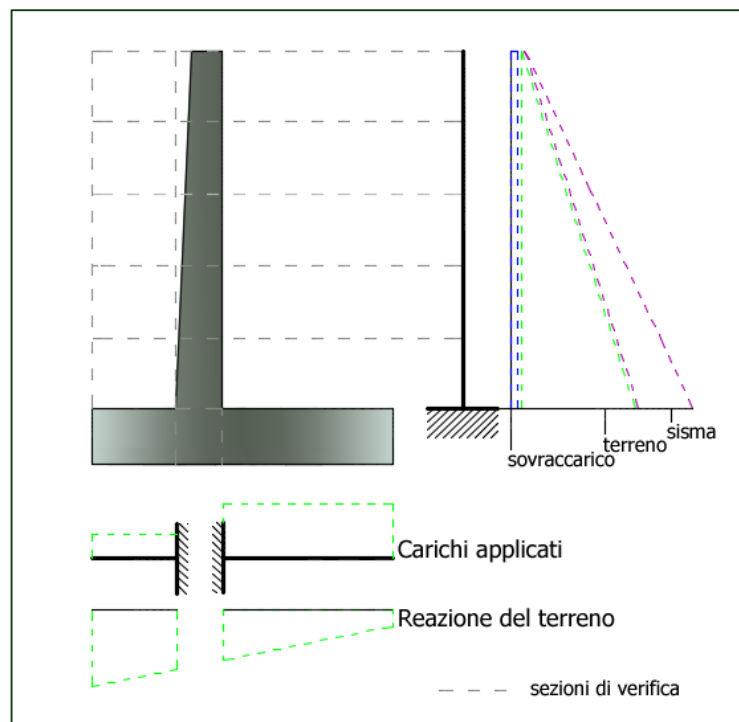


Fig. 3: Schema statico

Analogamente, per la fondazione di valle e di monte, si assume lo stesso schema statico della mensola di elevazione: si tratta di travi ad asse rettilineo che possono essere caricate da carichi distribuiti verticali, da forze o coppie concentrate.

Per il calcolo delle caratteristiche di sollecitazione il programma sfrutta il metodo analitico facendo riferimento alle caratteristiche positive della convenzione sui segni adottata.

## 6. SOLLECITAZIONI MURO E SCHEMA STATICO

### 6.1 ANALISI DEL PALO IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO: MODELLO DI WINKLER

Il modello di Winkler consente di tenere conto in modo semplice della variabilità delle proprietà meccaniche del terreno e delle stratificazioni.

In presenza di mezzo omogeneo ( $K$  costante) è stata adottata la classifica di Hetényi che distingue tre possibili comportamenti del palo su mezzo alla Winkler, in funzione del valore che assume la rigidezza relativa ( $I$ ) terreno palo ossia: palo di tipo corto o rigido, palo relativamente flessibile, palo infinitamente flessibile.

Per il calcolo delle forze in gioco viene adottata la seguente convenzione sui segni (Fig. 4):

- forza verticale  $F_y$  positiva se diretta verso il basso;
- forza orizzontale  $F_x$  positiva da sinistra verso destra;
- coppia  $M$  positiva se produce spostamenti concordi con quelli della forza orizzontale  $F_x$ .

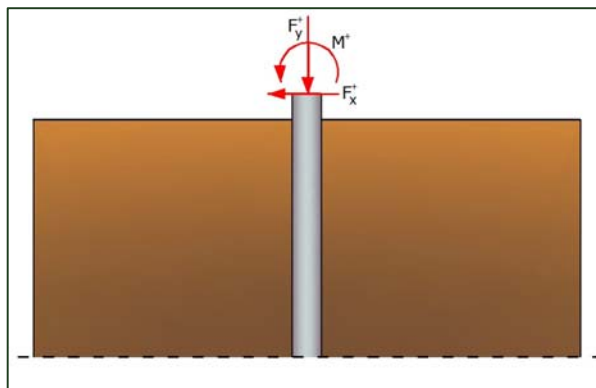


Fig. 4: Convenzione sui segni

## 6.2 CARICO LIMITE VERTICALE

Il carico limite verticale viene calcolato con le formule statiche, che esprimono il medesimo in funzione della geometria del palo e delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia palo-terreno.

Ai fini del calcolo, il carico limite  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote: la resistenza alla punta  $Q_p$  e la resistenza laterale  $Q_s$ .

## 6.3 RESISTENZA UNITARIA ALLA PUNTA

La resistenza unitaria  $q_p$  alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito ( $j$ ) e di coesione ( $c$ ), è data dall'espressione:

$$q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q$$

con:

- $g$  = peso unità di volume del terreno;
- $D$  = lunghezza del palo;
- $N_c$  e  $N_q$  = fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare).

Il fattore  $N_q$  viene calcolato secondo la teoria di *Berezantzev*.

## 6.4 RESISTENZA DEL FUSTO

Il contributo alla resistenza del fusto viene calcolato utilizzando una combinazione di sforzi totali ed efficaci. Sono previsti tre procedimenti di calcolo di uso corrente, due dei quali di validità generale per la resistenza laterale di pali collocati in terreni coesivi. Questi metodi prendono il nome di *a*, *b* e *l* dai coefficienti moltiplicativi usati nel termine della capacità portante laterale.

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo *a*, proposto da *Tomlinson (1971)*. La resistenza laterale viene calcolata nel seguente modo:

$$f_s = \alpha \cdot c + q \cdot K \cdot \tan \delta$$

con

- $c$  = valore medio della coesione o della resistenza a taglio in condizioni non drenate;
- $q$  = Pressione verticale del terreno;
- $K$  = coefficiente di spinta orizzontale dipendente dalla tecnologia del palo e dal precedente stato di addensamento calcolato come segue:

- per pali infissi:

$$K = 1 + \tan^2 \varphi$$

- per pali trivellati:

$$K = 1 - \tan^2 \varphi$$

- $\delta$  = attrito palo-terreno, funzione della scabrezza della superficie del palo:

- per pali infissi:

$$\delta = \frac{3}{4} \cdot \tan \varphi$$

- per pali trivellati:

$$\delta = \tan \varphi$$

- $a$  = coefficiente ricavato come di seguito riportato:

- per pali infissi:

$c < 0.25$	$a = 1.00$
$0.25 < c < 0.5$	$a = 0.85$
$0.5 < c < 0.75$	$a = 0.65$
$0.75 < c < 2.4$	$a = 0.50$
$c > 2.4$	$a = 1.2 / c$

- per pali trivellati:

$c < 0.25$	$a = 0.9$
$0.25 < c < 0.5$	$a = 0.8$
$0.5 < c < 0.75$	$a = 0.6$
$0.75 < c < 2$	$a = 0.4$
$c > 2$	$a = 0.8 / c$

Secondo le indicazioni di Okamoto in presenza di effetti sismici la resistenza laterale viene ridotta in funzione del coefficiente sismico  $k_h$  come segue:

$$C_{\text{reduct\_coeff}} = 1 - k_h$$

Infine:

- per i pali trivellati sia le caratteristiche di resistenza ( $c$ ,  $j$ ) che il coefficiente del modulo orizzontale del terreno sono stati ridotti del 10%;
- in caso azioni di trazione il carico alla punta è nullo mentre quello laterale è stato ridotto al 70%;
- nel coefficiente di sicurezza verticale si tiene in debito conto anche del peso palo.

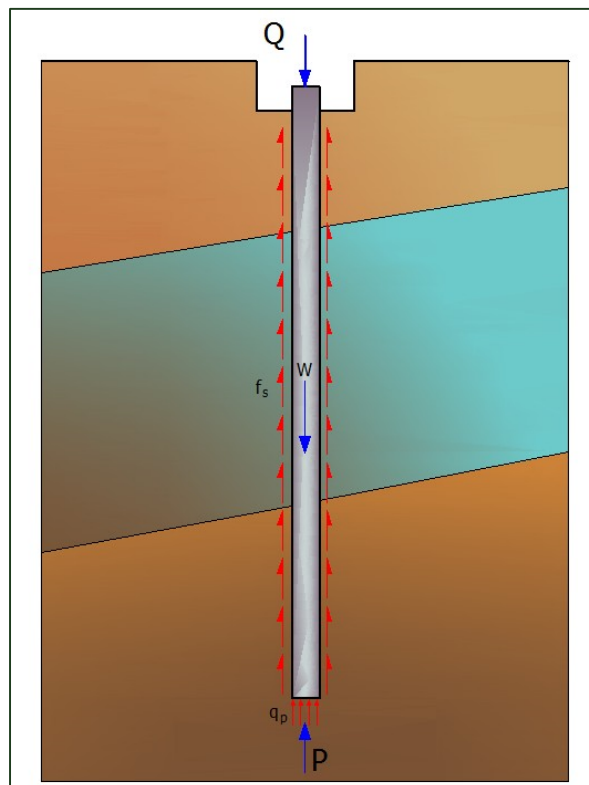


Fig. 5: Schema delle aliquote di resistenza del carico limite

## 6.5 CEDIMENTI

Il cedimento verticale è stato calcolato con il metodo Davis-Poulos, secondo il quale il palo viene considerato rigido (indeformabile) immerso in un mezzo elastico, semispazio o strato di spessore finito.

Si ipotizza che l'interazione palo terreno sia costante a tratti lungo  $n$  superfici cilindriche in cui viene suddivisa la superficie laterale del palo. Il cedimento della generica superficie  $i$  per effetto del carico trasmesso dal palo al terreno lungo la superficie  $j$ esima può essere espresso:

$$w_{i,j} = \left( \frac{\tau_j}{E} \right) \cdot B \cdot I_{i,j}$$

avendo indicato con:

- $t_j$  = Incremento di tensione relativo al punto medio della striscia;
- $E$  = Modulo elastico del terreno;
- $B$  = Diametro del palo;
- $I_{ij}$  = Coefficiente di influenza.

Il cedimento complessivo si ottiene sommando  $W_{ij}$  per tutte le  $j$  aree.

## 7. CARATTERISTICHE CODICE DI CALCOLO

Le verifiche riportate al capitolo precedente sono state eseguite mediante il *software* di calcolo *MDC* (versione 2020.29.7.1001), prodotto dall'azienda *GeoStru*. *MDC* è un programma per l'analisi di muri di sostegno a gravità e in c.a. con fondazioni dirette o su pali anche in presenza di tiranti.

Il *software* esegue il calcolo geotecnico utilizzando, a scelta dell'utente, le teorie di Coulomb, Rankine e Mononobe ed Okabe (Coulomb in presenza di sisma) ed effettua tutte le verifiche prescritte dalla normativa vigente, tra cui quella di stabilità globale, anche in condizioni sismiche.

Il calcolo strutturale esegue il dimensionamento delle armature, sia agli *SLU* che alle Tensioni Ammissibili, e la verifica della sezione reagente a diverse quote.

## 8. MURO SU PALI $H_{max} = 1.20$ m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR]

### 8.1 CALCOLO SPINTE

#### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
$\beta$	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$
270,0	260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

$\mu$	Angolo di direzione della spinta.
$K_a$	Coefficiente di spinta attiva.
$K_d$	Coefficiente di spinta dinamica.
$D_k$	Coefficiente di incremento dinamico.
$K_{ax}, K_{ay}$	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
$D_{kx}, D_{ky}$	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	$K_a$	$K_d$	$D_k$	$K_{ax}$	$K_{ay}$	$D_{kx}$	$D_{ky}$
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

$Q_i$	Quota inizio strato.
$Q_f$	Quota inizio strato.
$R_{px}, R_{py}$	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
$Z(R_{px})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
$Z(R_{py})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	$Q_i$	$Q_f$	$R_{px}$	$R_{py}$	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	270,0	260,0	0,0	0,0	265,0	265,0
2	260,0	226,0	11,68	2,06	242,57	242,57
3	226,0	182,0	17,75	3,13	203,39	203,39
4	182,0	138,0	20,73	3,65	159,47	159,47
5	138,0	94,0	23,7	4,18	115,54	115,54
6	94,0	50,0	26,67	4,7	71,59	71,59

**8.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO****Peso, baricentro ed inerzia**

$P_y$	Peso del muro (kN);
$P_x$	Forza inerziale (kN);
$X_p, Y_p$	Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	$P_x$	$P_y$	$X_p$	$Y_p$
260,0	0,0	0,75	16,0	265,0
226,0	0,0	3,3	16,0	248,0
182,0	0,0	6,6	16,0	226,0
138,0	0,0	9,9	16,0	204,0
94,0	0,0	13,2	16,0	182,0
50,0	0,0	16,5	16,0	160,0

#### 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
260,0	0,0	0,75	0,0	30,0
226,0	11,68	5,36	1,63	30,0
182,0	29,44	11,79	10,09	30,0
138,0	50,16	18,75	26,95	30,0
94,0	73,86	26,22	53,5	30,0
50,0	100,53	34,23	91,05	30,0

#### 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)  
 OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

**TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)**

15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	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	260,0	226,0	11,46	3,07	242,57	242,57
2	226,0	182,0	17,41	4,67	203,39	203,39
3	182,0	138,0	20,33	5,45	159,47	159,47
4	138,0	94,0	23,24	6,23	115,54	115,54
5	94,0	50,0	26,16	7,01	71,59	71,59
6	50,0	0,0	33,61	7,37	24,52	24,62

**Sollecitazioni totali**

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

	Fx	Fy	M
Spinta terreno	132,21	33,8	98,43
Peso muro	0,0	16,5	-2,64
Peso fondazione	0,0	18,88	-14,25
Sovraccarico	0,0	52,2	-47,5
Terr. fondazione	0,0	40,77	-37,1
	132,21	162,14	-3,07

Momento stabilizzante	-152,53 kN m
Momento ribaltante	149,46 kN m

### 8.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

**Forze palo max sollecitato**

Forza orizzontale	396,63 kN
Forza verticale (P)	486,43 kN
Momento	-9,21 kNm



#### Dati palo

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	60,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

#### Stratigrafia palo

Strato n. 1	
Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	15,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 KN/m <sup>3</sup>

Strato n. 2	
Spessore strato	300,0 cm
Peso unità di volume	11,09 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa

Strato n. 3	
Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

#### Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	144,17 cm
Cedimento del palo	0,03 cm
Spostamento in x	0,31 cm
Rotazione in testa	0,12 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda	118,85 kPa

#### Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	3051,33 kN
Carico limite laterale (Qs)	259,79 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15

$R=(Q_p/X_{i3})/F_sP+(Q_s/X_{i3})/F_sL$	1462,44 kN
Peso palo (W)	5766,36 Kg
Fattore di sicurezza $F_s=R/(P+W)$	2,69

## 9. MURO SU PALI Hmax = 1.20 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,1336
Coefficiente sismico verticale Kv	0,0668

### 9.1 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
270,0	260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)  
 OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

**TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)**

10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

**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	270,0	260,0	0,0	0,0	265,0	265,0
2	260,0	226,0	9,3	1,64	242,58	242,51
3	226,0	182,0	14,43	2,54	203,42	203,31
4	182,0	138,0	17,13	3,02	159,51	159,42
5	138,0	94,0	19,82	3,5	115,58	115,5
6	94,0	50,0	22,52	3,97	71,63	71,56

## 9.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO

**Peso, baricentro ed inerzia**

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
260,0	0,1	0,75	16,0	265,0
226,0	0,44	3,3	16,0	248,0
182,0	0,88	6,6	16,0	226,0
138,0	1,32	9,9	16,0	204,0
94,0	1,76	13,2	16,0	182,0
50,0	2,2	16,5	16,0	160,0

**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
260,0	0,1	0,75	0,01	30,0
226,0	9,74	4,94	1,39	30,0
182,0	24,61	10,78	8,48	30,0
138,0	42,18	17,1	22,64	30,0

94,0	62,44	23,9	45,05	30,0
50,0	85,4	31,17	76,89	30,0

#### 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

#### 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)
----	----	-----	-----	--------	--------

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)  
 OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

**TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)**

1	260,0	226,0	9,12	2,44	242,58	242,51
2	226,0	182,0	14,15	3,79	203,42	203,31
3	182,0	138,0	16,8	4,5	159,51	159,42
4	138,0	94,0	19,44	5,21	115,58	115,5
5	94,0	50,0	22,09	5,92	71,63	71,56
6	50,0	0,0	28,59	6,36	24,57	24,6

**Sollecitazioni totali**

Fx	Forza in direzione x (kN);		
Fy	Forza in direzione y (kN);		
M	Momento (kNm);		
	Fx	Fy	M
Spinta terreno	110,19	28,22	80,41
Peso muro	2,2	16,5	0,89
Peso fondazione	2,52	18,88	-13,62
Sovraccarico	4,65	34,8	-19,58
Terr. fondazione	5,45	40,77	-28,66
	125,02	139,17	19,44
Momento stabilizzante	-128,28 kN m		
Momento ribaltante	147,72 kN m		

### 9.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

**Forze palo max sollecitato**

Forza orizzontale	375,05 kN
Forza verticale (P)	417,51 kN
Momento	58,31 kNm

**Dati palo**

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	60,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

**Stratigrafia palo**

Strato n. 1	
Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 kN/m³
Angolo di attrito	15,0 °

Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 kN/m <sup>3</sup>

Strato n. 2

Spessore strato	300,0 cm
Peso unità di volume	11,09 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa

Strato n. 3

Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	144,17 cm
Cedimento del palo	0,03 cm
Spostamento in x	0,33 cm
Rotazione in testa	0,14 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 118,85 kPa	

Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	3051,33 kN
Carico limite laterale (Qs)	259,79 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	1462,44 kN
Peso palo (W)	5766,36 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	3,08

## 10. MURO SU PALI Hmax = 1.50 m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR]

### 10.1 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
200,0	190,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
190,0	170,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
170,0	140,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
140,0	110,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
110,0	80,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
80,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	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	200,0	190,0	0,0	0,0	195,0	195,0
2	190,0	170,0	6,66	1,17	179,85	179,85
3	170,0	140,0	11,14	1,96	154,69	154,69
4	140,0	110,0	12,52	2,21	124,72	124,72
5	110,0	80,0	13,9	2,45	94,75	94,75
6	80,0	50,0	15,28	2,69	64,77	64,77

## 10.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO

### Peso, baricentro ed inerzia

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
190,0	0,0	0,75	16,0	195,0
170,0	0,0	2,25	16,0	185,0
140,0	0,0	4,5	16,0	170,0
110,0	0,0	6,75	16,0	155,0
80,0	0,0	9,0	16,0	140,0
50,0	0,0	11,25	16,0	125,0

### 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
190,0	0,0	0,75	0,0	30,0
170,0	6,66	3,42	0,48	30,0
140,0	17,79	7,64	3,82	30,0
110,0	30,31	12,1	10,67	30,0
80,0	44,22	16,8	21,45	30,0
50,0	59,5	21,74	36,56	30,0

### 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 (°);



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)

OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)

Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
$\beta$	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$
190,0	170,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
170,0	140,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
140,0	110,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
110,0	80,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
80,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$	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.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	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	190,0	170,0	6,53	1,75	179,85	179,85
2	170,0	140,0	10,92	2,93	154,69	154,69
3	140,0	110,0	12,28	3,29	124,72	124,72
4	110,0	80,0	13,63	3,65	94,75	94,75
5	80,0	50,0	14,99	4,02	64,77	64,77
6	50,0	0,0	28,34	5,96	24,44	24,53

#### Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);
----	----------------------------

Fy M	Forza in direzione y (kN); Momento (kNm);		
	Fx	Fy	M
Spinta terreno	86,69	21,6	47,37
Peso muro	0,0	11,25	-1,8
Peso fondazione	0,0	15,13	-9,15
Sovraccarico	0,0	39,15	-29,75
Terr. fondazione	0,0	20,39	-15,49
	86,69	107,51	-8,82
Momento stabilizzante	-82,33 kN m		
Momento ribaltante	73,51 kN m		

### 10.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

#### Forze palo max sollecitato

Forza orizzontale	260,08 kN
Forza verticale (P)	322,53 kN
Momento	-26,47 kN m

#### Dati palo

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	40,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

#### Stratigrafia palo

Strato n. 1	
Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 KN/m³
Angolo di attrito	15,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 KN/m³
Strato n. 2	
Spessore strato	300,0 cm
Peso unità di volume	11,09 KN/m³
Angolo di attrito	36,0 °

Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa
Strato n. 3	
Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

#### Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	106,37 cm
Cedimento del palo	0,02 cm
Spostamento in x	0,38 cm
Rotazione in testa	0,18 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda 87,68 kPa	

#### Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	1291,27 kN
Carico limite laterale (Qs)	156,43 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	642,66 kN
Peso palo (W)	2562,83 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	1,85

### 11. MURO SU PALI Hmax = 1.50 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh	0,1336
Coefficiente sismico verticale Kv	0,0668

#### 11.1 CALCOLO SPINTE

##### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);

Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	$\beta$
200,0	190,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
190,0	170,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
170,0	140,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
140,0	110,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
110,0	80,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
80,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### Coefficienti di spinta ed inclinazioni

$\mu$	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.

$\mu$	Ka	Kd	Dk	Kax	Kay	Dkx	Dky
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

#### 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	200,0	190,0	0,0	0,0	195,0	195,0
2	190,0	170,0	5,28	0,93	179,85	179,82
3	170,0	140,0	8,96	1,58	154,7	154,65
4	140,0	110,0	10,21	1,8	124,74	124,69
5	110,0	80,0	11,47	2,02	94,77	94,73
6	80,0	50,0	12,72	2,24	64,79	64,75

## 11.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO

#### Peso, baricentro ed inerzia

Py	Peso del muro (kN);
----	---------------------

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)

OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

**TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)**

Px Forza inerziale (kN);  
Xp, Yp Coordinate baricentro dei pesi (cm);

Quota	Px	Py	Xp	Yp
190,0	0,1	0,75	16,0	195,0
170,0	0,3	2,25	16,0	185,0
140,0	0,6	4,5	16,0	170,0
110,0	0,9	6,75	16,0	155,0
80,0	1,2	9,0	16,0	140,0
50,0	1,5	11,25	16,0	125,0

**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
190,0	0,1	0,75	0,01	30,0
170,0	5,58	3,18	0,43	30,0
140,0	14,84	7,01	3,22	30,0
110,0	25,35	11,06	8,95	30,0
80,0	37,12	15,33	17,99	30,0
50,0	50,14	19,83	30,72	30,0

**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);  
β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
190,0	170,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
170,0	140,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
140,0	110,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
110,0	80,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
80,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

**Coefficienti di spinta ed inclinazioni**

$\mu$	Angolo di direzione della spinta.
$K_a$	Coefficiente di spinta attiva.
$K_d$	Coefficiente di spinta dinamica.
$D_k$	Coefficiente di incremento dinamico.
$K_{ax}, K_{ay}$	Componenti secondo x e y del coefficiente di spinta attiva.
$D_{kx}, D_{ky}$	Componenti secondo x e y del coefficiente di incremento dinamico.

$\mu$	$K_a$	$K_d$	$D_k$	$K_{ax}$	$K_{ay}$	$D_{kx}$	$D_{ky}$
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

**Spinte risultanti e punto di applicazione**

$Q_i$	Quota inizio strato.
$Q_f$	Quota inizio strato.
$R_{px}, R_{py}$	Componenti della spinta nella zona j-esima (kN);
$Z(R_{px})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);
$Z(R_{py})$	Ordinata punto di applicazione risultante spinta (cm);

	$Q_i$	$Q_f$	$R_{px}$	$R_{py}$	$z(R_{px})$	$z(R_{py})$
1	190,0	170,0	5,17	1,39	179,85	179,82
2	170,0	140,0	8,79	2,35	154,7	154,65
3	140,0	110,0	10,02	2,68	124,74	124,69
4	110,0	80,0	11,25	3,01	94,77	94,73
5	80,0	50,0	12,48	3,34	64,79	64,75
6	50,0	0,0	23,8	5,07	24,48	24,5

**Sollecitazioni totali**

$F_x$	Forza in direzione x (kN);
$F_y$	Forza in direzione y (kN);
$M$	Momento (kNm);

	$F_x$	$F_y$	$M$
Spinta terreno	71,51	17,86	38,36
Peso muro	1,5	11,25	0,08
Peso fondazione	2,02	15,13	-8,65
Sovraccarico	3,49	26,1	-13,21
Terr. fondazione	2,72	20,39	-12,23
	81,24	90,72	4,36

Momento stabilizzante	-69,89 kN m
Momento ribaltante	72,24 kN m

### 11.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

#### Forze palo max sollecitato

Forza orizzontale	243,73 kN
Forza verticale (P)	272,15 kN
Momento	13,07 kNm

#### Dati palo

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	40,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

#### Stratigrafia palo

##### Strato n. 1

Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	15,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 kN/m <sup>3</sup>

##### Strato n. 2

Spessore strato	300,0 cm
Peso unità di volume	11,09 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa

##### Strato n. 3

Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

#### Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	106,37 cm
Cedimento del palo	0,02 cm
Spostamento in x	0,41 cm
Rotazione in testa	0,23 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda	87,68 kPa

#### Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	1291,27 kN
Carico limite laterale (Qs)	156,43 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	642,66 kN
Peso palo (W)	2562,83 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	2,16

## 12. MURO SU PALI Hmax = 2.20 m - COMBINAZIONE A1+M1+R3 [GEO+STR]

### 12.1 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
270,0	260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)

OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)

10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	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	270,0	260,0	0,0	0,0	265,0	265,0
2	260,0	226,0	11,68	2,06	242,57	242,57
3	226,0	182,0	17,75	3,13	203,39	203,39
4	182,0	138,0	20,73	3,65	159,47	159,47
5	138,0	94,0	23,7	4,18	115,54	115,54
6	94,0	50,0	26,67	4,7	71,59	71,59

## 12.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO

#### Peso, baricentro ed inerzia

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
260,0	0,0	0,75	16,0	265,0
226,0	0,0	3,3	16,0	248,0
182,0	0,0	6,6	16,0	226,0
138,0	0,0	9,9	16,0	204,0
94,0	0,0	13,2	16,0	182,0
50,0	0,0	16,5	16,0	160,0

#### 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
260,0	0,0	0,75	0,0	30,0

226,0	11,68	5,36	1,63	30,0
182,0	29,44	11,79	10,09	30,0
138,0	50,16	18,75	26,95	30,0
94,0	73,86	26,22	53,5	30,0
50,0	100,53	34,23	91,05	30,0

#### Discretizzazione terreno

Qi	Quota iniziale strato (cm);
Qf	Quota finale strato
G	Peso unità di volume (KN/m <sup>3</sup> );
Eps	Inclinazione dello strato. (°);
Fi	Angolo di resistenza a taglio (°);
Delta	Angolo attrito terra muro;
c	Coesione (kPa);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
15,0	0,74	0,0	0,0	0,72	0,19	0,0	0,0
10,0	0,74	0,0	0,0	0,73	0,13	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	260,0	226,0	11,46	3,07	242,57	242,57
2	226,0	182,0	17,41	4,67	203,39	203,39
3	182,0	138,0	20,33	5,45	159,47	159,47
4	138,0	94,0	23,24	6,23	115,54	115,54
5	94,0	50,0	26,16	7,01	71,59	71,59
6	50,0	0,0	33,61	7,37	24,52	24,62

#### Sollecitazioni totali

Fx	Forza in direzione x (kN);		
Fy	Forza in direzione y (kN);		
M	Momento (kNm);		
	Fx	Fy	M
Spinta terreno	132,21	33,8	98,43
Peso muro	0,0	16,5	-2,64
Peso fondazione	0,0	18,88	-14,25
Sovraccarico	0,0	52,2	-47,5
Terr. fondazione	0,0	40,77	-37,1
	132,21	162,14	-3,07
Momento stabilizzante	-152,53 kN m		
Momento ribaltante	149,46 kN m		

## 12.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

#### Forze palo max sollecitato

Forza orizzontale	396,63 kN
Forza verticale (P)	486,43 kN
Momento	-9,21 kNm

#### Dati palo

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	60,0 cm
Copri ferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

### Stratigrafia palo

#### Strato n. 1

Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	15,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 KN/m <sup>3</sup>

#### Strato n. 2

Spessore strato	300,0 cm
Peso unità di volume	11,09 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa

#### Strato n. 3

Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

### Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	144,17 cm
Cedimento del palo	0,03 cm
Spostamento in x	0,31 cm
Rotazione in testa	0,12 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda	118,85 kPa

### Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	3051,33 kN
Carico limite laterale (Qs)	259,79 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	1462,44 kN
Peso palo (W)	5766,36 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	2,69

### 13. MURO SU PALI Hmax = 2.20 m - COMBINAZIONE SISMA [GEO+STR]

Coefficiente sismico orizzontale Kh 0,1336  
 Coefficiente sismico verticale Kv 0,0668

#### 13.1 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);  
 β Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);  
 Note Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
270,0	260,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

##### 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
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

##### 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	270,0	260,0	0,0	0,0	265,0	265,0
2	260,0	226,0	9,3	1,64	242,58	242,51
3	226,0	182,0	14,43	2,54	203,42	203,31
4	182,0	138,0	17,13	3,02	159,51	159,42
5	138,0	94,0	19,82	3,5	115,58	115,5
6	94,0	50,0	22,52	3,97	71,63	71,56

### 13.2 VERIFICHE PARAMENTO VERTICALE MURO

#### Peso, baricentro ed inerzia

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

Quota	Px	Py	Xp	Yp
260,0	0,1	0,75	16,0	265,0
226,0	0,44	3,3	16,0	248,0
182,0	0,88	6,6	16,0	226,0
138,0	1,32	9,9	16,0	204,0
94,0	1,76	13,2	16,0	182,0
50,0	2,2	16,5	16,0	160,0

#### 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
260,0	0,1	0,75	0,01	30,0
226,0	9,74	4,94	1,39	30,0
182,0	24,61	10,78	8,48	30,0
138,0	42,18	17,1	22,64	30,0
94,0	62,44	23,9	45,05	30,0
50,0	85,4	31,17	76,89	30,0

#### 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);
β	Angolo perpendicolare al paramento lato monte (°);
Note	Nelle note viene riportata la presenza della falda

Qi	Qf	G	Eps	Fi	Delta	c	β
260,0	226,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
226,0	182,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
182,0	138,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
138,0	94,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
94,0	50,0	16,18	0,0	15,0	15,0	0,0	0,0
50,0	0,0	16,18	0,0	15,0	10,0	0,0	0,0

#### 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
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
15,0	0,74	0,69	0,13	0,72	0,19	0,13	0,03
10,0	0,74	0,7	0,13	0,73	0,13	0,13	0,02

#### 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	260,0	226,0	9,12	2,44	242,58	242,51
2	226,0	182,0	14,15	3,79	203,42	203,31
3	182,0	138,0	16,8	4,5	159,51	159,42
4	138,0	94,0	19,44	5,21	115,58	115,5
5	94,0	50,0	22,09	5,92	71,63	71,56
6	50,0	0,0	28,59	6,36	24,57	24,6

#### Sollecitazioni totali

	Fx	Fy	M
	Forza in direzione x (kN);	Forza in direzione y (kN);	
	M	Momento (kNm);	
	Fx	Fy	M
Spinta terreno	110,19	28,22	80,41
Peso muro	2,2	16,5	0,89
Peso fondazione	2,52	18,88	-13,62
Sovraccarico	4,65	34,8	-19,58
Terr. fondazione	5,45	40,77	-28,66
	125,02	139,17	19,44
Momento stabilizzante	-128,28 kN m		
Momento ribaltante	147,72 kN m		

### 13.3 VERIFICHE PALI TRIVELLATI

#### Forze palo max sollecitato

Forza orizzontale	375,05 kN
Forza verticale (P)	417,51 kN
Momento	58,31 kNm

#### Dati palo

Lunghezza	800,0 cm
Diametro	60,0 cm
Copriferro	3,0 cm
Palo trivellato	
Numero verticali indagate	1
Fattore correlazione verticali indagate [xi3]	1,7
Fattore correlazione verticali indagate [xi4]	1,7

#### Stratigrafia palo

Strato n. 1	
Spessore strato	305,0 cm
Peso unità di volume	16,18 kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	15,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	1471,0 kPa
Modulo di reaz. orizzontale	294199,5 kN/m <sup>3</sup>
Strato n. 2	
Spessore strato	300,0 cm



COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Longobardi (CS) – Piazza Miceli, 1 – 87030 Longobardi (CS)

OGGETTO: Messa in sicurezza della sponda destra idrografica, rischio PAI R4, Torrente Cordari in località Frailliti

TAV. 2.8 – RELAZIONE GEOTECNICA E SULLE FONDAZIONI (Cod. elaborato PD REL.09)

---

Peso unità di volume	11,09 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	36,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	186329,0 kPa

Strato n. 3	
Spessore strato	195,0 cm
Peso unità di volume	11,39 KN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	38,0 °
Coesione	0,0 kPa
Modulo di elasticità	215749,0 kPa

Spostamenti e rotazioni in testa al palo

Lunghezza d'onda	144,17 cm
Cedimento del palo	0,03 cm
Spostamento in x	0,33 cm
Rotazione in testa	0,14 °
Pressione limite orizzontale in corrispondenza della lunghezza d'onda	118,85 kPa

Carico limite verticale

Carico limite di punta (Qp)	3051,33 kN
Carico limite laterale (Qs)	259,79 kN
Coefficiente di sicurezza punta (FsP)	1,35
Coefficiente di sicurezza laterale (FsL)	1,15
$R=(Qp/Xi3)/FsP+(Qs/Xi3)/FsL$	1462,44 kN
Peso palo (W)	5766,36 Kg
Fattore di sicurezza $Fs=R/(P+W)$	3,08

Diamante (CS), 10.12.2020

I PROGETTISTI

---

Arch. Francesco ARCURI

---

Ing. Danilo MAGURNO