

**PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO**  
**PER LA MESSA IN SICUREZZA DELL'AREA A MONTE**  
**DELL'ABITATO DI FARRA D'ALPAGO IN VIA XVII APRILE**  
**CUP: F61B21006410003**

**COMMITTENTE****PROVINCIA DI BELLUNO**

Via Sant'Andrea, n. 5 – 32100 Belluno

**RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**

dott.ssa Stefania Bassani

**PROGETTAZIONE GENERALE  
E DIREZIONE LAVORI:**studio di ingegneria  
Mazzoran Tiloca De Lottopiazza dei Martiri, 29  
32100 - Belluno  
tel. 0437.659236via Roma, 59  
32043 - Cortina d'Ampezzo (BL)  
tel. 0436.2764 - fax 0436.870416

studiomtd.it - info@studiomtd.it

ing. Ludovico De Lotto

**RELAZIONE GEOLOGICA****Sede operativa di Alpago**Viale al lago, 10 - località  
Farra - 32016 Alpago (BL)

mobile +39 340 9824957

e-mail: studio@geopadovan.it

dott. geol. Tiziano Padovan

**RELAZIONE DI CALCOLO DELLE  
STRUTTURE****DATA**

31/08/2022

**AGGIORNAMENTI****ALLEGATO****R6**



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSE .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>AZIONI DI PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
4.1	Azioni del terreno.....	5
4.2	Azioni sismiche .....	6
<b>5</b>	<b>BRIGLIA DI PROGETTO – SCENARI ANALIZZATI .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>VERIFICA DELLA BRIGLIA.....</b>	<b>8</b>
6.1	Modello di calcolo .....	8
6.2	Verifica.....	8



## 1 PREMESSE

Il presente documento fa parte del progetto strutturale di *Messa in sicurezza dell'area a monte dell'abitato di Farra d'Alpago - via XVII Aprile, nel comune di Alpago (BL)*.

In particolare ci si riferisca a quanto segue per quanto riguarda la Relazione di calcolo di cui al §10.1 del D.M. 17.01.2018.

I lavori previsti riguardano, dal punto di vista prettamente strutturale, la realizzazione di una briglia filtrante in c.a. con pettine in acciaio.

Di seguito si riportano le verifiche SLU di tipo strutturale (STR) della briglia, demandando alla Relazione geotecnica per le verifiche SLU di tipo geotecnico (GEO): scorrimento sul piano di posa, collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, ribaltamento. Si omettono le verifiche di esercizio (SLE) di cui al § 6.5.3.2 del D.M. 17.01.2018 in quanto non significative per il caso in oggetto.

Tutte le verifiche vengono svolte assimilando la briglia a muro di sostegno, secondo quindi le indicazioni contenute al §6.5.3.1.1. e al §7.11.6.2 del D.M. 17.01.2018.

Le verifiche del rafforzamento corticale sono contenute nell'allegata relazione geologica.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- [DR01] Relazione geologica a firma del dott. Tiziano Padovan.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

I calcoli delle strutture, che considerano le effettive modalità costruttive adottate dall'impresa esecutrice, sono stati sviluppati con gli usuali metodi suggeriti dalla Scienza delle Costruzioni, utilizzando il metodo degli Stati Limite.

Dal punto di vista normativo si fa riferimento a:

- [NR01] Legge 05.11.1971 n.1086 "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica".
- [NR02] D.M. 17 gennaio 2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- [NR03] Circolare 21.01.2019 n.7, C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17.01.2018".

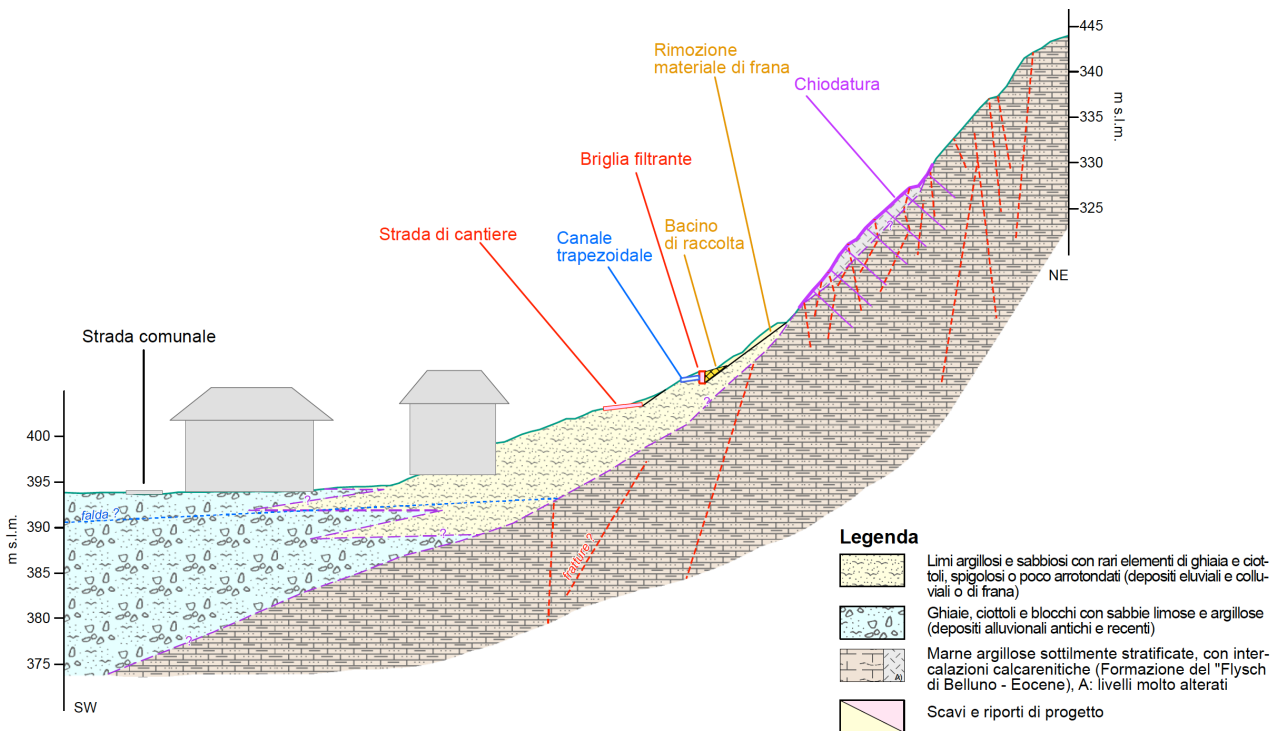
## 4 AZIONI DI PROGETTO

### 4.1 Azioni del terreno

Il documento di riferimento, come detto, è il [DR01] *Relazione geologica* a firma del dott. geologo Tiziano Padovan al quale si rimanda per ogni dettaglio.

Si riportano di seguito alcuni significativi estratti della suddetta relazione (sezione geologica con relativi parametri geomeccanici da impiegare).

I terreni in oggetto, dal punto di vista sismico, appartengono alla Categoria di sottosuolo B. La Categoria topografica è T2.



Sezione geologica

-	angolo d'attrito interno (effettive) .....	$\phi'$	=	$22^\circ \div 23^\circ$
-	coesione (effettive) .....	$c'$	=	$5 \div 10 \text{ kPa}$
-	angolo d'attrito interno (tot.) .....	$\phi_u$	=	$0^\circ$
-	coesione (totali) .....	$c_u$	=	$20 \div 30 \text{ kPa}$
-	peso di volume .....	$\gamma$	=	$18 \div 19 \text{ kN/m}^3$
-	modulo di elasticità .....	$E$	=	$10 \div 15 \text{ MPa}$

-	angolo d'attrito interno .....	$\phi'$	=	$34^\circ \div 35^\circ$
-	coesione .....	$c'$	=	$0 \text{ kPa}$
-	peso di volume .....	$\gamma$	=	$19 \div 20 \text{ kN/m}^3$
-	peso di volume immerso .....	$\gamma$	=	$10 \div 11 \text{ kN/m}^3$
-	modulo di elasticità .....	$E$	=	$20 \div 30 \text{ MPa}$

Parametri geomeccanici dei due litotipi individuati (sopra limi argillosi, sotto le ghiaie)

## 4.2 Azioni sismiche

Il comune di Alpago (BL) appartiene alla Zona Sismica di 1<sup>a</sup> categoria. I terreni in oggetto, dal punto di vista sismico, appartengono alla Categoria di sottosuolo B. La Categoria topografica è T2.

La Vita nominale dei manufatti in oggetto vale  $V_N=50$  anni (*Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale*) e la loro Classe d'uso è la II, a cui corrisponde un Coefficiente d'uso  $C_U=1.0$  e di conseguenza il Periodo di riferimento per l'azione sismica vale  $V_R=50$  anni.

L'accelerazione massima attesa al sito da considerare nell'analisi pseudo statica per il calcolo dei coefficienti sismici orizzontale e verticale è pari a  $a_{max}= 0.35$  g.

I coefficienti sismici possono essere valutati come indicato al §7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018 di cui si riportano di seguito dei significativi estratti.

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

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad [7.11.6]$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad [7.11.7]$$

dove

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

$a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

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)

I coefficienti sismici assumono pertanto i seguenti valori:

$$k_h = 0.38 \times 0.35 = 0.133$$

$$k_v = \pm 0.5 \times 0.133 = \pm 0.067$$

Per la valutazione delle spinte in condizioni sismiche si adotta il metodo di *Mononobe e Okabe* (1929), che è un metodo pseudo statico derivato direttamente dall'estensione del metodo di *Coulomb*, suggerito dalla vigente normativa per le opere di sostegno in zona sismica.

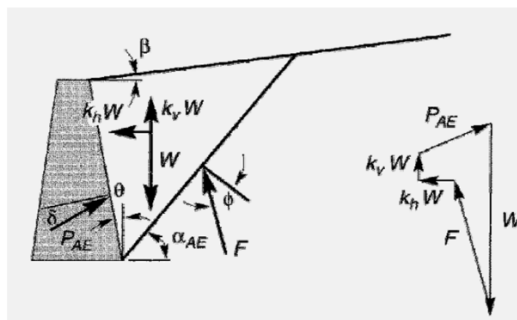
Di seguito si riporta un'immagine esplicativa della definizione della spinta in condizioni sismiche con il metodo sopra citato.

$$P_{AE} = \frac{1}{2} K_{AE} \gamma H^2 (1 - k_v)$$

Dove:

$$K_h = a_h/g \quad K_v = a_v/g$$

$$\psi = \tan^{-1} [k_h / (1 - k_v)]$$



$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta - \psi)}{\cos \psi \cos^2 \theta \cos(\delta + \theta + \psi) \left[ 1 + \frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)} \right]^2} \quad \text{per } \phi - \beta \geq \psi$$

Valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo di Mononobe e Okabe



## 5 BRIGLIA DI PROGETTO – SCENARI ANALIZZATI

La briglia in progetto è stata calcolata per i seguenti due scenari:

- scenario 1: combinazione SLU (fondamentale) con briglia completamente colmata con terreno saturo d'acqua fino alla quota della gaveta e spinta idrostatica che si eleva fino alla sommità dei muri d'ala;
- scenario 2: combinazione SLV (sismica) con briglia completamente colmata con terreno (senza spinta idrostatica) fino alla quota della gaveta.

Le azioni stabilizzanti a tergo delle briglie sono quelle dovute ai corrispondenti pesi propri dell'acqua e del terreno immerso.

In conformità a quanto previsto dal §6.5.3.1.1 del D.M. 17.01.2018, le verifiche SLU di tipo geotecnico (scorrimento sul piano di posa, collasso per carico limite del complesso fondazione – terreno e ribaltamento) e di tipo strutturale (raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali) sono state effettuate secondo l'Approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali delle sottostanti tabelle, in modo da massimizzare gli effetti pertinenti a ciascuna verifica.

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_v$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

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

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

*Coefficienti parziali utilizzati nelle verifiche*

## 6 VERIFICA DELLA BRIGLIA

### 6.1 Modello di calcolo

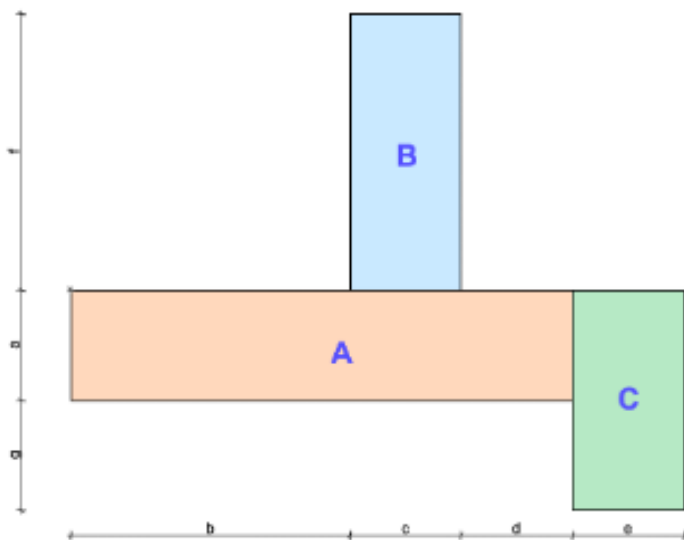
La briglia di progetto è stata calcolata e verificata con l'ausilio di un foglio di calcolo considerando una fascia di larghezza unitaria in corrispondenza del muro laterale.

Si trascura a favore di sicurezza la resistenza passiva del terreno a valle.

Si riportano di seguito le verifiche di resistenza (momento flettente e taglio) del muro della briglia in condizioni statiche (quelle sismiche non sono dimensionanti).

### 6.2 Verifica

Geometria della briglia:



altezza ciabatta (a)	0,50 m
scarpa (b)	1,20 m
spessore muro B (c)	0,40 m
ciabatta davanti (d)	0,40 m
dente davanti (e)	0,00 m
altezza muro (f)	1,95 m
altezza dente davanti (g)	0,00 m
lunghezza fondazione	2,00 m

Caratteristiche del terreno a monte				
$\phi$	angolo attrito terreno	22 °		
$\gamma$	peso terreno	19 [kN/mc]		
$\beta$	inclinazione paramento	0 °		
$\varepsilon$	inclinazione versante a monte	10 °		
$\delta$	attrito muro-terreno	7 °		
	peso acqua	10 [kN/mc]		
$\theta$	dipende da sisma	8 °		
$a^*S$	accelerazione suolo	0,35 g		
$\beta_m$	coeff. riduttivo formula 7.11.6	0,38		
kh		0,133		
kv		0,067		
<u>caso statico</u>				
Ka=	coeff. spinta attiva statico	0,50		$=\cos(0,38-0,00)^2/(\cos(0,00)^2*\cos(0,13+0,00)*(1+\sqrt{\sin(0,10)^2})$
	gradiente di pressione	4,46 [kN/mc]		$=0,50*(19,00-10,00)$
<u>caso sismico</u>				
Ka=	coeff. spinta attiva sismico	0,70		$=\cos(0,58-0,00-0,107)^2/(\cos(0,107)*\cos(0,00)^2*\cos(0,19+0,00+0,107)*(1+\sqrt{\sin(0,04)^2})$
	gradiente di pressione	15,08 [kN/mc]		$=0,70*(19,00)*(1+0,133)$

Caratteristiche terreno di fondazione				
tan $\phi$	attrito terreno-fondazione	23		
Cu	coesione non drenata	25,00	[kPa]	
C'	coesione drenata	10,00	[kPa]	
Caratteristiche geometriche sezione della briglia				
	peso briglia	44,50	[kN/m]	
	x baricentro briglia	0,82	[m]	
	y baricentro briglia	0,79	[m]	
	W fondazione	0,7	[m <sup>3</sup> ]	
VERIFICA STATICA				
	altezza acqua	2,0	[m]	
	altezza terreno	0,7	[m]	
	altezza muro	2,0	[m]	
	spinta acqua su muro	19,01	[kN/m]	$\approx 10,00 \cdot 2,0^2/2$
	braccio spinta acqua su muro	0,65	[m]	$\approx 2,0/3$
	spinta acqua sopra muro	0	[kN/m]	$\approx 10,00 \cdot (2,0-2,0) \cdot 2,0$
	braccio spinta acqua sopra muro	0,975	[m]	$\approx 2,0/2$
	spinta terra su muro	1,1	[kN/m]	$\approx (4,46 \cdot 0,7) \cdot 0,7/2$
	braccio spinta terra su briglia	0,23	[m]	$\approx 0,7/3$
Verifica muro elevazione (A1+M1+R3)				
	Momento al piede SLU (MEd)	16,4	[kNm/m]	$\approx 1,3 \cdot (19,01 \cdot 0,65 + 0,00 \cdot 0,98 + 1,1 \cdot 0,23)$
	Momento resistente (MRd)	190,2	[kNm/m]	
	16,4	<	190,2	Verificato
Verifica muro a taglio (A1+M1+R3)				
	Taglio al piede SLU (VEd)	26,1	[kN/m]	$\approx 1,3 \cdot (19,01 + 0,00 + 1,1)$
	Taglio resistente (VRd)	161,2	[kN/m]	
	26,1	<	161,2	Verificato

Di seguito la verifica flessionale della sezione di base con il programma freeware del prof. Gelfi:

Verifica C.A. S.L.U. - File

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: BRIGLIA FARRA D'ALPAGO

N° strati barre 2 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	40	1	10,05	5
			2	15,71	35

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N<sub>Ed</sub> 0 kN  
M<sub>xEd</sub> 0 kNm  
M<sub>yEd</sub> 0 kNm

P.to applicazione N  
Centro Baricentro cls  
Coord. [cm] xN 0 yN 0

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M<sub>Rd</sub> 190,2 kN m

Materiali B450C C32/40

$\epsilon_{su}$  67,5 ‰  $\epsilon_{c2}$  2 ‰  
 $f_{yd}$  360 N/mm²  $\epsilon_{cu}$  3,5 ‰  
 $E_s$  200 000 N/mm²  $f_{cd}$  18,13 ‰  
 $E_s/E_c$  15  $f_{cc}/f_{cd}$  0,8 ?  
 $\epsilon_{syd}$  1,8 ‰  $\sigma_{c,adm}$  12,25 N/mm²  
 $\sigma_{s,adm}$  255 N/mm²  $\tau_{co}$  0,7333  
 $\tau_{c1}$  2,114

$\sigma_c$  -18,13 N/mm²  
 $\sigma_s$  360 N/mm²  
 $\epsilon_c$  3,5 ‰  
 $\epsilon_s$  24,06 ‰  
d 35 cm  
x 4,445 x/d 0,127  
 $\delta$  0,7

Metodo di calcolo S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione Retta Deviata

N° rett. 100

Calcola MRd Dominio M-N

L<sub>0</sub> 0 cm Col. modello

Precompresso

Verifica flessionale sezione alla base

Di seguito la verifica a taglio per la sezione di base senza armatura:

fck	32 MPa	resistenza caratteristica
d	350 mm	altezza utile sezione
b	1000 mm	larghezza sezione
Armatura	5 $\phi$ 16	misure dei ferri
As tesa	10,05 mmq	
sigma	0 MPa	Deve essere > 0
	1,76	'=1+(200/350,00)^0.5
k=	1,76	'=MIN(1,76;2)
vmin=	0,46	'=0.035*1,76^1.5*32,00^0.5
rho=	0,00%	'=10,05/(350,00*1.000,00)
V1=	33,3 kN	'=(0.18*1,76*(100*0,00%*32,00)^0.33333/1.5+0.15*0,00)*350,00*1.000,00/1000
V2=	161,2 kN	'=(0,46+0.15*0,00)*350,00*1.000,00/1000
<b>V<sub>Ed</sub>=</b>	<b>161,2 kN</b>	<b>Taglio resistente</b>