

Regione Piemonte

Città Metropolitana di Torino



COMUNE DI VOLPIANO

**LAVORI DI URBANIZZAZIONE IN AREE CASCINA VERDINA -
TRASLAZIONE CANALE BENDOLINO**

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

COMMITTENTE

RELAZIONE GEOTECNICA E DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE

Elaborato	Scala
3	-
CODICE: 17029-D16-0	
REVISIONE	DATA
0	APR.2020



PROGETTISTI:

Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI

Dott. Ing. Luca GATTIGLIA

Dott. Ing. Chiara PALESE

EDes Ingegneri Associati P.IVA 10759750010
Via Postumia 49, 10142 Torino Tel. +39 011.0262900 Fax. +39 011.0262902
www.edesconsulting.eu edes@edesconsulting.eu

COMUNE DI VOLPIANO

**LAVORI DI URBANIZZAZIONE IN AREE CASCINA VERDINA –
TRASLAZIONE CANALE BENDOLINO**

**RELAZIONE GEOTECNICA E
DI DIMENSIONAMENTO STRUTTURALE**

INDICE

1. PREMESSA	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	1
3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	1
4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA	2
5. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE MURO IN C.A.....	4
5.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	4
5.2 ANALISI DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA.....	5
5.3 INDIVIDUAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO	5
5.4 VERIFICHE GEOTECNICHE.....	5
5.5 VERIFICHE STRUTTURALI	7

1. PREMESSA

Nel presente documento verranno analizzati gli aspetti puramente tecnici di carattere geotecnico e strutturale. In particolare verranno effettuate le opportune verifiche per i manufatti in c.a., ovvero i muri d'ala dei due scatolari prefabbricati (sez. 150 e 90).

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La redazione della presente relazione è stata eseguita nel rispetto della normativa in vigore e di alcune specifiche raccomandazioni, in particolare:

- D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni 2018”
- Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica”.
- OPCM 3274: “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche” e successive modifiche ed integrazioni.

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Data la modesta entità dell'intervento non si è ritenuto necessario effettuare indagini geotecniche mirate; per la redazione della presente si fa riferimento all'elaborato 2 “Relazione Geologica” a firma del Geol. Castelletto.

Nella citata relazione geologica si riportano i seguenti parametri geotecnici, determinati sulla base di dati della letteratura e su analisi eseguite dal professionista su terreni analoghi:

Profondità (m)	Materiali	γ_{\square}' (kN/m ³)	ϕ' (°)	ϕ_{cv} (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)
0.00-1.60	Terreno di riporto	18.5	29	26	0	-
1.60-2.20	Ghiaie e sabbie con ciottoli di colore bruno	19.0	32	28	0	-
2.20-4.00	Ghiaie e sabbie con ciottoli di colore grigio-bruno	19.5	36	32	0	-

dove:

γ' : Peso di Volume

ϕ' : Angolo di resistenza al taglio

ϕ_{cv} : Angolo di resistenza al taglio a volume costante (Lambe & Whitman, 1969)

c' : Coesione drenata

c_u : Coesione non drenata

In via cautelativa, per le verifiche geotecniche dei manufatti sono stati considerati i seguenti parametri:

- Angolo di resistenza al taglio: 29 gradi
- Peso di volume: 18,5 kN/m³
- Coesione nulla.

4. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La normativa vigente, riprende i principi sulla classificazione sismica dei suoli dell'OPCM 3274 e successive modifiche, ed individua come parametro di riferimento per la classificazione la velocità media di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$). Il parametro di riferimento viene calcolato con la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Nella quale:

h_i = spessore dello strato i -esimo;

V_i = velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato i -esimo;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Non è stata eseguita alcuna indagine sismica ma dall'analisi dei dati disponibili ed in via del tutto cautelativa è possibile classificare terreno in esame come **suolo B**.

Sulla base della classificazione sismica ottenuta e sulla base delle coordinate geografiche del sito in esame nonché delle caratteristiche topografiche, ed altri parametri relativi alla nuova costruzione in esame, è possibile definire gli spettri di risposta in accelerazione per ogni stato limite (di esercizio e ultimo) considerato. Sulla base dello spettro di risposta sarà quindi possibile determinare l'azione sismica, ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. (§ 3.2 NTC-18).

Individuata la categoria del sottosuolo, altro parametro richiesto è quello riguardante le condizioni topografiche al fine di valutare l'amplificazione sismica locale (tabella seguente).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Il sito in esame appartiene alla categoria T1.

E' necessario inoltre, al fine di valutare gli spettri di risposta per i diversi stati limite, fare alcune considerazioni di carattere generale sulla struttura di futura costruzione.

In primo luogo deve essere definita la vita nominale della struttura V_N "La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.I e deve essere precisata nei documenti di progetto." (§ 2.4.1 NTC-18).

Si riporta di seguito la tabella utilizzata per la definizione di V_N .

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Le strutture in esame rientrano nella seconda categoria, pertanto si considera una vita nominale pari a 50 anni.

Per valutare il periodo di riferimento per l'azione sismica è necessario definire il coefficiente d'uso funzione della classe di uso della struttura in progetto (§ 2.4.3 NTC-08)

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Si considera $C_U=1$.


La pericolosità sismica, con riferimento al D.M. 17/01/2018, è definita in base ai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento orizzontale, determinabili sulla base delle considerazioni fino ad ora esplicitate.

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono forniti per una serie di punti sul territorio, e possono essere opportunamente interpolati. Si riportano di seguito i parametri di progetto relativi all'azione sismica per i diversi stati limite, inerenti il sito indagato ubicato nel Comune di Volpiano (TO).


Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_o	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	30	0.020	2.607	0.160
Danno (SLD)	50	0.024	2.603	0.187
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.046	2.717	0.275
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.054	2.762	0.295
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			


Coefficienti sismici

 Tipo Muri di sostegno NTC 2018

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m) 1 us (m) 0.1

 Cat. Sottosuolo B

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,59	1,54	1,42	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.014	0.021	0.000
kv	--	0.007	0.011	--
Amax [m/s ²]	0.231	0.286	0.545	0.641
Beta	--	0.470	0.380	--

In ambito geotecnico, i parametri sopra esplicitati si utilizzano per il calcolo dei coefficienti sismici (k_h e k_v) il quale a sua volta rientra nella definizione dei coefficienti correttivi per calcolo della capacità portante e della spinta attiva.

5. DIMENSIONAMENTO GEOTECNICO E STRUTTURALE MURO IN C.A.

Nei seguenti paragrafi si illustrano i procedimenti di calcolo e le analisi condotte rispetto ai muri d'ala di raccordo tra il canale a sezione trapezia e gli scatolari prefabbricati delle sezioni 150 e 90. Tali muri, due per ogni raccordo (in totale 6) sono fondati su più livelli, con fondazione a gradini, per ottimizzare scavi e volume di calcestruzzo. Nella presente relazione si riportano le verifiche relative alla sezione più sollecitata dei muri, ovvero il tratto di altezza 3,20 di raccordo tra lo scatolare sotto al piazzale Coral e il canale Bendolino. Per le verifiche delle altre sezioni del muro si rimanda alla progettazione esecutiva.

Il muro, avente sviluppo lineare di circa 1,5 m, ha una fondazione larga 2,00 m e alta 0,40 m, e l'elevazione ha uno spessore di 0,30 m e altezza 3,20 m. La fondazione presenta un dente, lato alveo, di altezza 0,30 m e larghezza 0,30 m. Il muro risulta completamente interrato a tergo.

Per le caratteristiche geometriche si rimanda alla tavola dei particolari costruttivi.

Di seguito verranno illustrate le verifiche svolte ai sensi del D.M. 17/01/2018, in condizioni sismiche.

5.1 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Per quanto concerne i materiali, si adotteranno le seguenti prescrizioni:

- calcestruzzo per opere di fondazione → classe C25/30, R_{ck} 30 N/mm²
- calcestruzzo per opere in elevazione → classe C25/30, R_{ck} 30 N/mm²
- acciaio per calcestruzzo armato B450C → $f_{yd} = 450 \text{ N/mm}^2 = 450 \text{ MPa}$

Per quanto riguarda le prove sui materiali da costruzioni si rimanda a quanto previsto dalla vigente normativa.

5.2 ANALISI DELLE AZIONI AGENTI SULLA STRUTTURA

Oltre alle azioni sismiche i carichi coinvolti nell'analisi sono il peso proprio degli elementi strutturali, la spinta del terreno e le pressioni idrostatiche. A tergo dei muri si è assunto un sovraccarico variabile pari a 10 kN/m² al fine di simulare i carichi stradali.

La spinta della terra, agente sulle pareti laterali, viene valutata considerando il coefficiente di spinta attiva k_a calcolato secondo Rankine. I parametri del terreno considerati nei calcoli sono i seguenti:

- peso specifico terreno: 18,5 kN/m³;
- $\phi' = 29^\circ$
- $c' = 0 \text{ kPa}$.

5.3 INDIVIDUAZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

In conformità alle norme C.N.R. – UNI 10024/86, si riportano alcune informazioni sul codice di calcolo usato per l'analisi degli elementi strutturali esaminati.

I calcoli sono stati eseguiti con l'ausilio del software IS Muri, modulo di geotecnica per il calcolo dei muri di sostegno di DOLMENWIN 13, prodotto, distribuito e assistito dalla società CDM Dolmen S.r.l., con sede in Torino, via Drovetti n° 9.

5.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

Nel presente paragrafo verranno approfondite le verifiche di carattere geotecnico, in particolare:

- a capacità portante,
- a ribaltamento (equilibrio),
- a scorrimento.

Verifica capacità portante

La valutazione della capacità portante è condotta sulla base dell'usuale formula di Brinch – Hansen che viene qui di seguito richiamata:

$$q_{lim} = 0.5 \gamma B' N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} z_{\gamma} + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c z_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q z_q$$

nella quale appaiono i coefficienti correttivi per tener conto della forma della fondazione, dell'approfondimento, della presenza dell'azione orizzontale, dall'inclinazione del piano di posa, e della presenza del sisma.

Verifica scorrimento

Il collasso per slittamento è scongiurato se il contributo dell'attrito e della coesione sull'area efficace della fondazione più il contributo della resistenza passiva laterale è maggiore delle forze orizzontali sollecitanti:

$$F_{scor} = \frac{\tan \delta \cdot V}{H} \geq \gamma_R$$

con $\gamma_R = 1$

Verifica ribaltamento

La verifica a ribaltamento è condotta effettuando il bilanciamento delle azioni che producono un momento ribaltante e quelle che producono un effetto stabilizzante; la verifica è soddisfatta se viene rispettata la seguente condizione:

$$F_{rib} = \frac{M_{stab.}}{M_{rib.}} \geq \gamma_R$$

con $\gamma_R = 1$

Nella seguente tabella si riportano le verifiche geotecniche eseguite automaticamente dal programma per le diverse combinazioni di carico previste da normativa.

caso di carico	capacità portante	scorrimento	equilibrio
1 - STR (SLU)	- Drenata - q applicata = 1.26 daN/cm2 q ammissibile = 1.33 daN/cm2 --> fs = 1.06 [Verificato]	- Drenata - v applicato = 3310.81 daN v ammissibile = 6949.17 daN --> fs = 2.1 [Verificato]	verifica non prevista
2 - EQU (SLU_EQU)	verifica non prevista	verifica non prevista	- Ribaltamento - Stabile (spost.max.=0.9[cm]) [Verificato]
3 - STR_SISMA_SU (SLU)	- Drenata - q applicata = 0.94 daN/cm2 q ammissibile = 1.36 daN/cm2 --> fs = 1.45 [Verificato]	- Drenata - v applicato = 2333.3 daN v ammissibile = 5231.31 daN --> fs = 2.24 [Verificato]	verifica non prevista
4 - GEO_SISMA_SU (SLU_GEO)	verifica non prevista	- Drenata - v applicato = 3351.5 daN v ammissibile = 4721.06 daN	verifica non prevista

		--> $f_s = 1.41$ [Verificato]	
5 - EQU_SISMA_SU (SLU_EQU)	verifica non prevista	verifica non prevista	- Ribaltamento - Stabile (spost.max.=0.7[cm]) [Verificato]
6 - STR_SISMA_GIU (SLU)	- Drenata - q applicata = 0.95 daN/cm ² q ammissibile = 1.37 daN/cm ² --> $f_s = 1.43$ [Verificato]	- Drenata - v applicato = 2354.12 daN v ammissibile = 5284.34 daN --> $f_s = 2.24$ [Verificato]	verifica non prevista
7 - GEO_SISMA_GIU (SLU_GEO)	verifica non prevista	- Drenata - v applicato = 3382.71 daN v ammissibile = 4768.97 daN --> $f_s = 1.41$ [Verificato]	verifica non prevista
8 - EQU_SISMA_GIU (SLU_EQU)	verifica non prevista	verifica non prevista	- Ribaltamento - Stabile (spost.max.=0.7[cm]) [Verificato]

5.5 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche strutturali sono condotte ai sensi del D.M. 17/01/2018 applicando i coefficienti di sicurezza parziali alle resistenze e alle azioni secondo l'approccio 2.

La verifica principale è la verifica a flessione ed è stata condotta in automatico dal software IS MURI, per ogni combinazione di carico prevista da normativa e tenendo conto del sisma.

Le sezioni più sollecitate sono le sezioni di innesto tra fusto e fondazioni, in corrispondenza delle quali si verifica il momento massimo, e in corrispondenza dell'incastro dei pali con la fondazione.

Disponendo nella sezione di innesto tra fusto e fondazione 5 $\phi 16$ al metro si ottengono i seguenti risultati.

Tabella 1 Verifica a flessione paramento muro

CASO	Msd [kN*m]	Mrd [kN*m]	Fs
1 SLU_STR	46.82	102.02	2.18
2 SLU_EQU	per equilibrio		
3 SLU_STR_SISMA	34.96	100.85	2.88
4 SLU_GEO_SISMA	per verifiche geotecniche		
5 SLU_EQU_SISMA	per equilibrio		

Tabella 2 Verifica a flessione fondazione muro

CASO	Msd [kN*m]	Mrd [kN*m]	Fs
1 SLU_STR	42.79	99.47	2.32
2 SLU_EQU	per equilibrio		
3 SLU_STR_SISMA	31.60	98.54	3.12
4 SLU_GEO_SISMA	per verifiche geotecniche		
5 SLU_EQU_SISMA	per equilibrio		

Nelle tabelle Msd rappresenta la sollecitazione di calcolo mentre Mrd rappresenta il momento resistente. Disponendo l'armatura sopracitata la verifica a flessione è soddisfatta per tutti i casi di carico imposti da normativa.

Nel progetto esecutivo verrà rappresentata graficamente la disposizione delle armature.