

REGIMAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE IN VIA VERZENTOLI LOC. NOCCHI

COMUNE DI CAMAIORE

PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE: COMUNE DI CAMAIORE

PROGETTISTA: ING. GIANMARCO CHINI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: ING. FILIPPO BIANCHI

OGGETTO:

ELABORATO

**RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE
MURO DI CONTENIMENTO**

9

INDICE

1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. ANALISI DEI CARICHI	4
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
5. RELAZIONE GEOTECNICA	6
6. VERIFICA DELLA STRUTTURA ED IN FONDAZIONE	8
6.1. Calcolo dei parametri dell'azione sismica	8
6.2. Verifica dei muri a retta	10
6.30 Verifica in fondazione dei muri a retta in c.a.	14

1. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il presente elaborato ha per oggetto la verifica delle opere strutturali previste per il contenimento del versante a monte di via Verzentoli, nel comune di Camaiore, così come descritto nella relazione generale alla quale si rimanda.

L'ubicazione e la geometria di dette opere sono indicate negli elaborati grafici di progetto ai quali si rimanda.

Le opere strutturali inerenti l'intervento in progetto consistono in un muro a retta in c.a. di contenimento del terreno; tale muro è presente lungo il lato stradale a monte, per un altezza massima fuori terra di 1,50 m, sul quale risulterà presente un rivestimento in pietra a faccia-vista non strutturale

Essendo un'opera di modesta entità non si provvede al deposito al Genio Civile ma si esegue comunque un calcolo di sicurezza strutturale sulla base di indagini geologiche in nostro possesso inerenti la zona d'intervento.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- **D.P.R. n. 380/01** “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”.

- **D.M. 14/1/08** “Norme tecniche per le costruzioni”.
 - Cap. 2.** Sicurezza, prestazioni attese, azioni sulle costruzioni.
 - Cap. 3.** Azioni sulle costruzioni.
 - Cap. 4.** Costruzioni civili e industriali.
 - Cap. 7.** Progettazione per zone sismiche.
 - Cap. 11.** Materiali e prodotti per uso strutturale.
 - Allegato A, B:** Pericolosità sismica. Tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica.

- **O.P.C.M. n. 3274/03** “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

- **O.P.C.M. n. 3431/05** “Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica».

- **O.P.C.M. n. 3362/04** “Modalità di attivazione del fondo per interventi straordinari della Presidenza del Consiglio dei Ministri, istituito ai sensi dell'art. 32 bis del decreto legge 30/09/2003 n. 269, convertito dalla legge 24/11/2003 n. 326”

3. ANALISI DEI CARICHI

Normativa di riferimento: l'entità delle azioni agenti sulla struttura è stata valutata sulla base del **Cap. 3** e **Cap. 7** del **D.M. 14/1/08** "Norme tecniche per le costruzioni".

- **pesi propri**

calcestruzzo: 2500 daN/m³

muratura in pietra: 2000 daN/m³

- **permanenti**

$\gamma_{t1} = 1970 \text{ daN/m}^3$ peso specifico del terreno a tergo dei muri a retta nel primo strato

$\gamma_{t2} = 2020 \text{ daN/m}^3$ peso specifico del terreno a tergo dei muri a retta nel secondo strato

- **accidentali**

sovraccarico su terreno a tergo dei muri a retta: 200 daN/m²

- **sisma** (par. 3.2. e segg., par. 7.3. e segg. del D.M. 14/01/08)

l'azione sismica è stata valutata secondo quanto prescritto dalla Normativa in vigore.

Per i parametri assegnati si rimanda al paragrafo specifico della presente relazione.

L'analisi condotta per la verifica dei muri a retta in c.a., oggetto della presente relazione, è del tipo pseudo-statica ai sensi del punto 7.11.6.2. del D.M.14/01/08.

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

I materiali impiegati per gli elementi strutturali possiedono le seguenti caratteristiche meccaniche:

- **Calcestruzzo** per getti di opere in fondazione, solette platee e muri a retta verticali:
classe C25/30 (resistenza cubica a compressione $R_{ck} = 300 \text{ daN/cm}^2$)
classe di consistenza S3
diametro massimo dell'inerte 32mm
classe di esposizione XC2

- **Calcestruzzo** magro per getti di pulizia e livellamento:
classe C12/15 (resistenza cubica a compressione $R_{ck} = 150 \text{ daN/cm}^2$)

- **Acciaio** per armatura da calcestruzzo armato tipo B450C:
tensione di snervamento $f_{yk} = 4500 \text{ daN/cm}^2$
modulo elastico $E_s = 2100000 \text{ daN/cm}^2$

5. RELAZIONE GEOTECNICA

Le caratteristiche stratigrafiche e fisico-meccaniche del terreno sono state individuate mediante specifiche indagini geognostiche, effettuate nel sito oggetto di intervento.

Sulla base dei dati in nostro possesso, il modello geotecnico del sottosuolo dei terreni investigati è stato suddiviso in cinque strati principali sovrapposti. Per il calcolo del muro a retta restano interessate la seconda e la terza unità, caratterizzate dalle seguenti caratteristiche fisico-meccaniche:

UNITÀ 2 – Argilla sabbiosa con clasti eterogenei

$\gamma_t = 1970 \text{ daN/m}^3$ peso specifico
 $\phi_t = 28^\circ$ angolo di attrito interno

UNITÀ 3 – Argilla sabbiosa consistente con clasti eterometrici

$\gamma_t = 2020 \text{ daN/m}^3$ peso specifico
 $\phi_t = 29^\circ$ angolo di attrito interno

L'area d'indagine è collocata alla base di un pendio avente un'inclinazione media inferiore ai 15° , pertanto viene assegnata una categoria topografica **T2** a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione pari a **1,2**.

In considerazione dell'intervento proposto è stata assegnata una **Classe d'uso 2**: *“Affollamenti normali. Assenza di funzioni pubbliche e sociali.”*

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, in questo caso **$V_N = 50$ anni**. Per questo tipo di Classe d'uso è previsto un coefficiente d'uso $C_U = 1$ è quindi possibile definire il periodo di riferimento (VR) secondo la seguente espressione:

$$V_R = V_N * C_U$$

Ottenendo un valore di riferimento **$V_R = 50$ anni**.

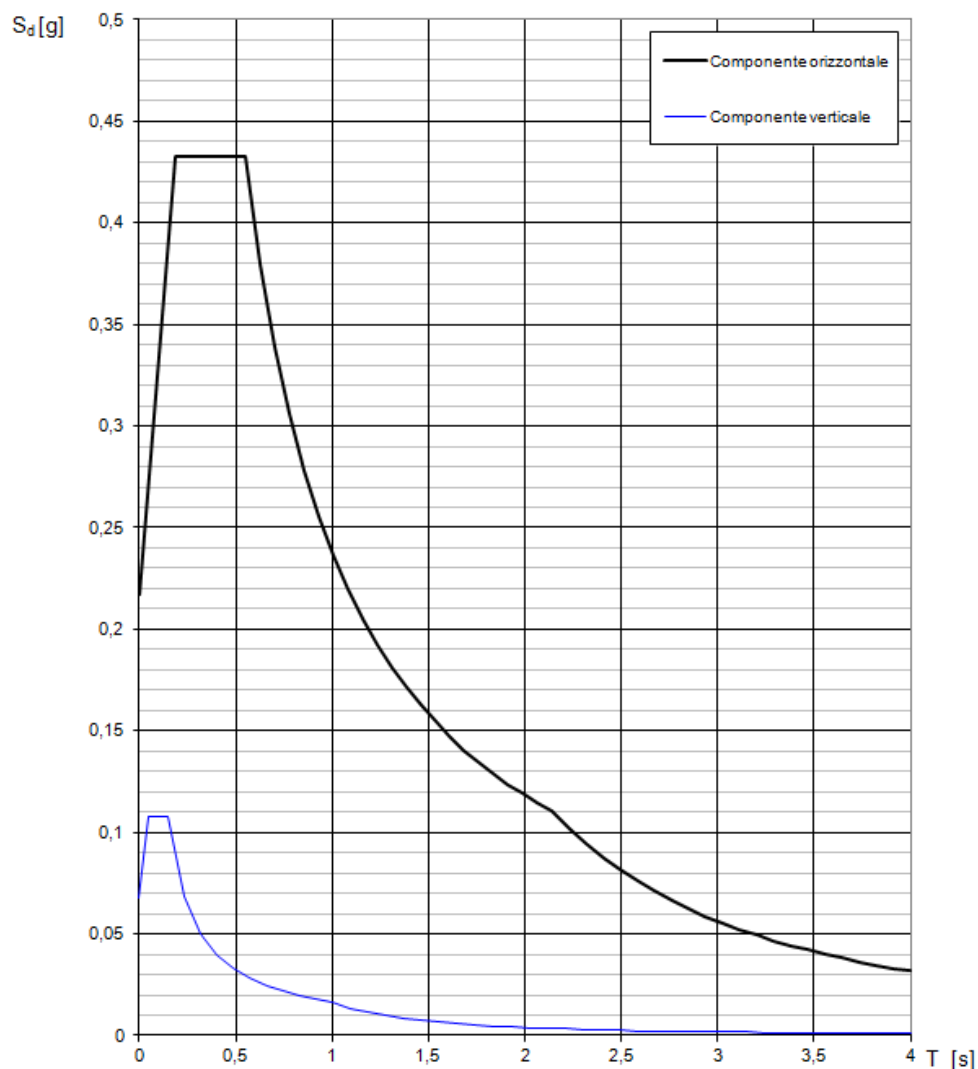
Per quanto riguarda la determinazione della *CATEGORIA DI SOTTOSUOLO*, si fa riferimento all'indagine sismica MASW effettuata nel sito. L'area oggetto di indagine ricade su una **categoria di suolo E** "*Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800\text{m/s}$)*"

6. VERIFICA DELLA STRUTTURA ED IN FONDAZIONE

6.1. Calcolo dei parametri dell'azione sismica

Nel calcolo dell'azione sismica sui muri di contenimento del terreno si è assunto il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa sul sito di riferimento rigido (a_g) dai seguenti grafici e tabelle di riferimento.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limSLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,136 g
F_o	2,393
T_c	0,290 s
S_s	1,600
C_c	1,886
S_T	1,000
q	1,200

Parametri dipendenti

S	1,600
η	0,833
T_B	0,182 s
T_C	0,547 s
T_D	2,143 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_s(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

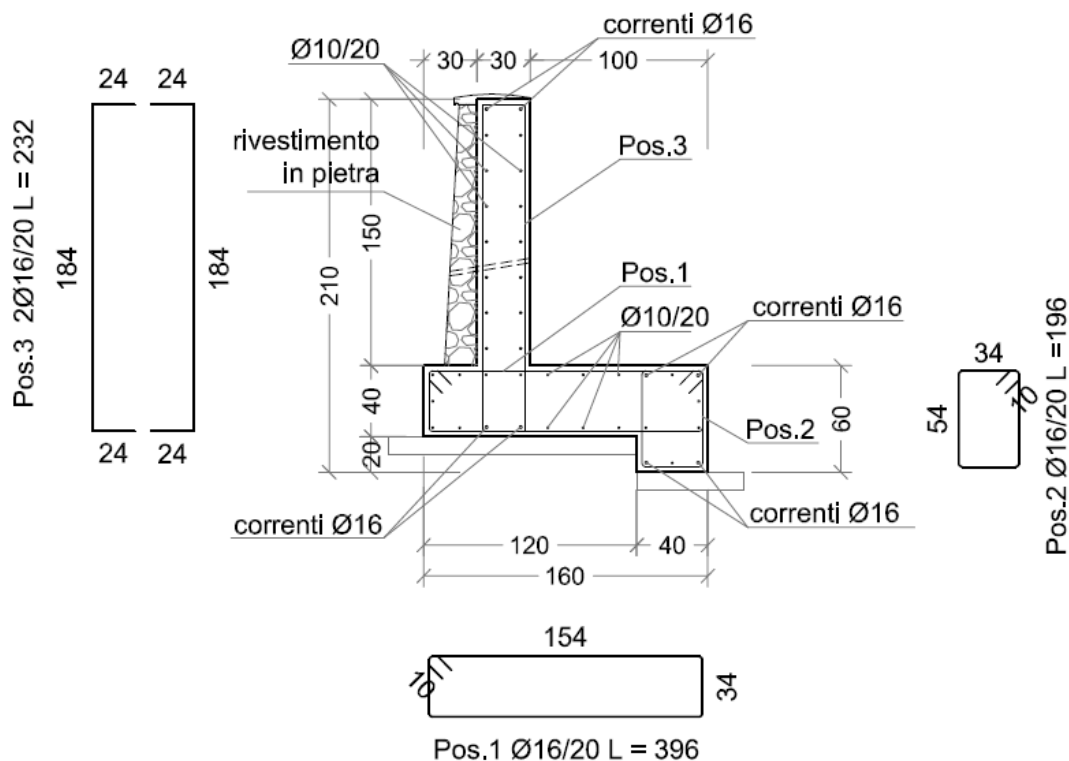
Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_s(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,217
T_B	0,182	0,433
T_C	0,547	0,433
	0,623	0,380
	0,699	0,339
	0,775	0,306
	0,851	0,278
	0,927	0,256
	1,003	0,236
	1,079	0,220
	1,155	0,205
	1,231	0,193
	1,307	0,181
	1,383	0,171
	1,459	0,162
	1,535	0,154
	1,611	0,147
	1,687	0,141
	1,763	0,134
	1,839	0,129
	1,915	0,124
	1,991	0,119
	2,067	0,115
T_D	2,143	0,111
	2,231	0,102
	2,320	0,094
	2,408	0,088
	2,496	0,081
	2,585	0,076
	2,673	0,071
	2,762	0,067
	2,850	0,063
	2,939	0,059
	3,027	0,055
	3,116	0,052
	3,204	0,049
	3,292	0,047
	3,381	0,044
	3,469	0,042
	3,558	0,040
	3,646	0,038
	3,735	0,036
	3,823	0,035
	3,912	0,033
	4,000	0,032

Nelle verifiche che seguono è riportato anche il calcolo della portanza del terreno in corrispondenza della fondazione del muro e la relativa verifica delle massime pressioni trasmesse al terreno.

6.2. Verifica dei muri a retta



Valori caratteristici dei parametri del terreno

Il terreno che interessa il muro in questione è schematizzato (vd. relazione geologica) in due strati.

unità 1

γ	daN/m ³	1970	peso unitario terreno
φ	(gradi)	28,0	attrito terreno
	(rad)	0,49	
α	(gradi)	19	attrito terreno-parete
	(rad)	0,33	
$\text{tg } \alpha$		0,34	

K_a		0,321	coefficiente di spinta attiva
K_p		5,152	coefficiente di spinta passiva

unità 2

γ_t	daN/m ³	2020	peso unitario terreno
φ	(gradi)	29,0	attrito terreno
	(rad)	0,51	
α	(gradi)	19	attrito terreno-parete
	(rad)	0,34	
$\text{tg } \alpha$		0,35	

K_a		0,309	coefficiente di spinta attiva
K_p		5,600	coefficiente di spinta passiva

Per semplificare i calcoli di verifica, il terreno è stato modellato considerando un unico strato caratterizzato dai valori caratteristici del terreno che massimizzano i valori dei parametri che entrano in gioco nei calcoli di verifica, andando comunque a favore di sicurezza. Tali valori caratteristici del terreno sono evidenziati in giallo, come mostrato sopra.

Caratteristiche geometriche e meccaniche del muro a retta

$H_c =$	1,90 m	altezza di calcolo della spinta sul muro
$s_1 =$	30 cm	spessore muro (medio se variabile lungo tutta l'altezza)
$s_2 =$	0 cm	spessore muro 2 (se presente)
$H_1 =$	1,50 m	altezza muro
$H_2 =$	0,00 m	altezza muro spessore 2
$s_p =$	15 cm	spessore paramento su muro (se presente)
$H_p =$	1,50 m	altezza paramento su muro (se presente)

Carichi

B_{cmp}	= 2,15 m	larghezza di competenza del sovraccarico su cuneo di spinta
V_{cmp}	= 2,04 m ³	volume di profondità unitaria del cuneo di spinta (compreso cuneo superiore)
γ_{cls}	= 2500,00 daN/m ³	p.s. materiale muro a retta
γ_p	= 2000,00 daN/m ³	p.s. paramento su muro (se presente)
Q_{svr}	= 200,00 daN/m ²	sovraccarico a tergo del muro a retta
Q_c	= 0,00 daN	carico in testa al muro (se presente)
S_1	= 1171,46 daN	spinta statica
b_1	= 0,63 m	braccio della spinta statica
S_2	= 122,09 daN	spinta da sovraccarico
b_2	= 0,95 m	braccio della spinta da sovraccarico
P_{tot}	= 6130,85 daN	massa sismica partecipante al moto del terreno
g	= 9,81 m/s ²	
a_g/g	= 0,136	acc. orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido
S_s	= 1,600	tab. 3.2.V (D.M.14/01/08)
S_t	= 1,00	tab. 3.2.VI (D.M.14/01/08)
a_{max}	= 2,13 m/s ²	acc. orizzontale massima attesa al sito
β_m	= 1,00	
k_h	= 0,218	
ΔS	= 1334,07 daN	incremento della spinta dovuto al sisma
$b_{\Delta S}$	= 0,95 m	braccio dell'incremento sismico della spinta

Sollecitazioni

$M_{max.1}$	= 2125 daNm	Momento flettente massimo alla base del muro a retta
$V_{max.1}$	= 2628 daN	Taglio massimo alla base del muro a retta

Verifica di resistenza a flessione alla base del muro

$\gamma = 1,5$ coeff. amplificatore delle azioni
 $M_{Ed} = 3188 \text{ daNm}$ SLU

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

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

Titolo : **base muro**

N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	30

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10,05	3
2	10,05	27

Sollecitazioni
S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
 M_{xEd} kNm
 M_{yEd} kNm

P.to applicazione N
☒ Centro ☐ Baricentro cls
☐ Coord.[cm] x_N y_N

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

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

Tipo flessione
☒ Retta ☐ Deviata

N° rett.
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_0 cm Col. modello

☐ Precompresso

Materiali

B450C	C25/30
ϵ_{su} 67,5 ‰	ϵ_{c2} 2 ‰
f_{yd} 391,3 N/mm²	ϵ_{cu} 3,5 ‰
E_s 200 000 N/mm²	f_{cd} 14,17 N/mm²
E_s/E_c 15	f_{cc}/f_{cd} 0,8
ϵ_{syd} 1,957 ‰	$\sigma_{c,adm}$ 9,75 N/mm²
$\sigma_{s,adm}$ 255 N/mm²	τ_{co} 0,6
	τ_{c1} 1,829

M_{xRd} kN m
 σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c 3,5 ‰
 ϵ_s 26,56 ‰
 d 27 cm
 x 3,143 x/d 0,1164
 δ 0,7

$MRd = 10050 \text{ daNm}$
 $MRd/M_{Ed} = 3,15 \geq 1,00$ VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a ribaltamento del muro

$\gamma = 1,3$ coeff. amplificatore delle azioni
 $MR_{ib} = 2763 \text{ daNm}$
 $B = 1,6 \text{ m}$ lunghezza base soletta
 $s_b = 40 \text{ cm}$ spessore soletta di base
 $b_1 = 0,30 \text{ m}$ lunghezza tratto soletta a valle del muro
 $b_2 = 1,00 \text{ m}$ lunghezza soletta a monte del muro
 $M_{stab} = 5221 \text{ daNm}$
 $M_{stab}/MR_{ib} = 1,89 \geq 1,10$ VERIFICA SODDISFATTA

Verifica a scorrimento del muro

$\gamma =$	1,3	coeff. amplificatore delle azioni
$H_{sc} =$	3416 daN	risultante delle azioni orizzontali
$h_v =$	0 cm	spessore terreno a valle
$h_d =$	20 cm	spessore del dente (se presente)
$K_{p,rid} =$	2,576	coeff. ridotto di spinta passiva
$H_v =$	937 daN	spinta passiva di valle
$N =$	7404 daN	risultante delle azioni verticali
$\phi_{bt} =$	35 gradi	angolo di attrito terreno-fondazione
$H_{res} =$	6121 daN	
$H_{res}/H_{sc} =$	1,79 \geq 1,10	VERIFICA SODDISFATTA

6.30 Verifica in fondazione dei muri a retta in c.a.

Calcolo della massima pressione trasmessa al terreno

$N =$	7404 daN	risultante delle azioni verticali
$M =$	3095 daNm	momento rispetto al polo della ver. a ribaltamento
$d =$	41,80 cm	
$e =$	38,20 cm	eccentricità del carico verticale
$L_{eff} =$	83,61 cm	lunghezza efficace per il calcolo della portanza
$\sigma_{t,max} =$	0,89 daN/cm ²	pressione massima trasmessa al terreno

Calcolo della portanza del terreno

Caratteristiche geometriche e meccaniche

D	(cm)	40	profondità del piano di fondazione
L	(cm)	84	larghezza efficace della fondazione
B	(cm)	100	lunghezza della fondazione

c	(daN/cm ²)	0,2	coesione del terreno
φ	(gradi)	28,00	angolo di attrito interno
	(rad)	0,4887	
tg φ	(rad)	0,5317	

γ_1	(daN/m ³)	1970	peso del terreno a fianco della fondazione
γ_2	(daN/m ³)	1970	peso del terreno sotto la fondazione

Parametri geotecnici del terreno modificati (par. 6.2.3.1.2.)

Approccio: 2

γ_φ		1,00
φ_d	(rad)	0,4887
$\text{tg} \varphi_d$		0,5317
γ_c		1,00
c'	(rad)	0,20

Capacità portante

N_q		14,72
N_c		25,80
N_γ		13,13

coefficienti di Meyerhoff

q_{lim}	(daN/cm ²)	7,40
γ_R		2,30
$q_{lim,d}$	(daN/cm ²)	3,22

coeff. parziale per le verifiche agli S.L.U.

valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

Verifica: $0,89 \text{ daN/cm}^2 \leq 3.22 \text{ daN/cm}^2$ VERIFICA SODDISFATTA