



MATERIA	COMPITO IN CLASSE O6	DATA	CLASSE	ALLIEVO	N
PROGETTAZIONE, COSTRUZIONI E IMPIANTI	MURO DI SOSTEGNO	16.05.2019	V ^a B		

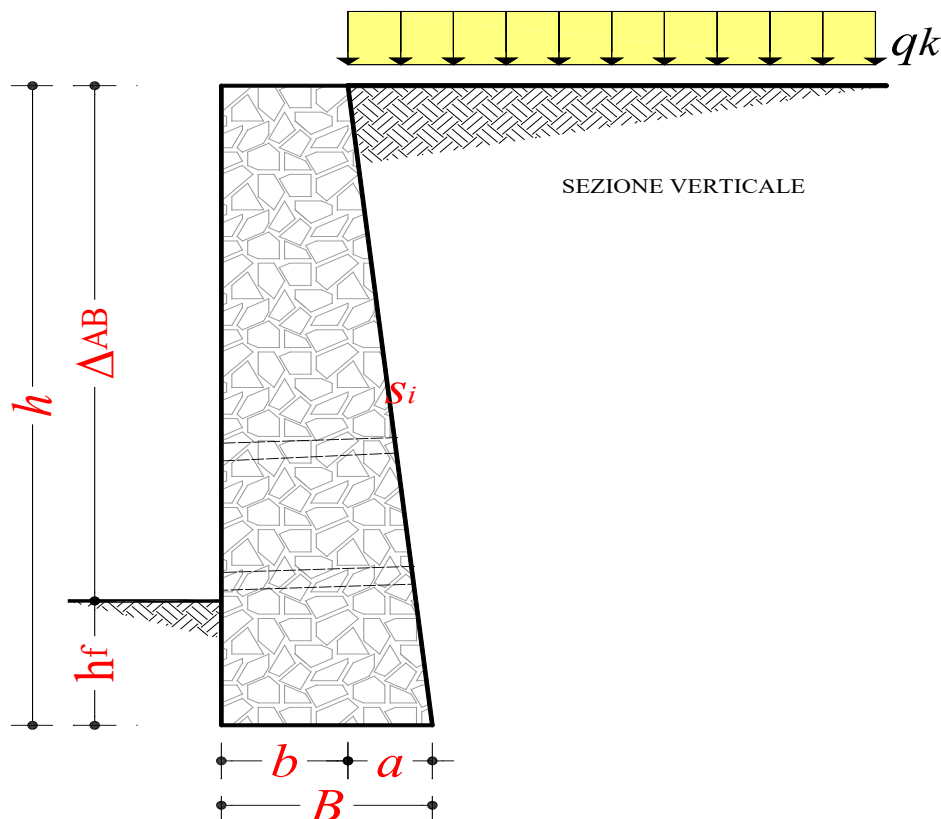
Nell'ambito della sistemazione di un'area urbana, si deve realizzare un muro di sostegno in muratura di pietrame tale da contenere un terrapieno con paramento esterno verticale e piano di estradosso orizzontale sul quale insiste sovraccarico variabile categoria. C₅ (NTC/2018).

Sono dati:

Dislivello fra piano finito a monte e a valle →	$\Delta_{AB} = (3.50+n^\circ/17) =$	m
Angolo di attrito →	$\phi_{tk} = (28+ n^\circ/17) =$	deg
Peso specifico terrapieno →	$\gamma_{tk} = (17 + n^\circ/17) =$	kN/m ³
Peso specifico muratura pietrame →	$\gamma_m = (23 + n^\circ/17) =$	kN/m ³
Spessore in sommità →	$b = (1.00+n^\circ/17) =$	m
Scarpa interna →	$s_i = 20\%$	

Scelte opportunamente tutti gli altri elementi mancanti necessari al calcolo, eseguire le verifiche di stabilità con il metodo dello stato limite con riferimento alle NTC2018, in particolare;

- ribaltamento;
- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno assumendo come $q_{lim} = 200 \text{ kN/m}^2$, (ricorda:
 $B^* = B-2\cdot e \rightarrow$ larghezza efficace fondazione (larghezza fittizia di calcolo))



Griglia di valutazione

INDICATORI	DESCRITTORI	non svolto	scarso	Insufficiente.	Sufficiente	discreto	ottimo	n.01 - 30/%	n.02 - 30/%	n.02 - 40/%	Tot	
		Conoscenze dei contenuti	0	0.5÷1	1	1÷1.5	1.5÷2	2				
		Padronanza nell'uso delle corrette procedure di calcolo	0	0.5÷1	1	1÷1.5	1.5÷2	2÷3				
		Correttezza e completezza delle soluzioni proposte	0	1	2	3	4	5				

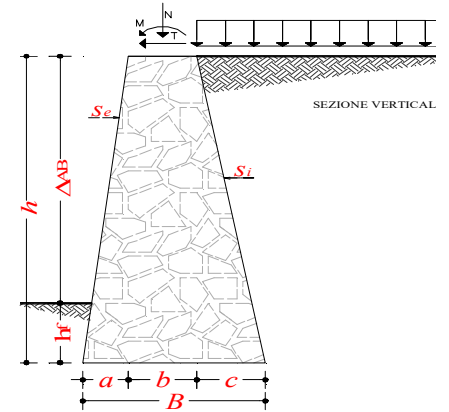
RELAZIONE DI CALCOLO "MURO DI SOSTEGNO A GRAVITÀ "

DATI GEOMETRICI

Δ_{AB}	h_f	s_e	s_i	h	a	b	c
m	m						
3,50	0,50	0%	20,00%	4,00	0,00	0,98	0,80
Valori adottati →				4,00	0,00	1,00	0,80

PARAMETRI GEOTECNICI

Terrapieno					Muratura	
Peso Specifico	Angolo attrito	Ang.attrito terra-muro	coesione	coef. attrito scorrimento	Peso Specifico	
$\gamma_{t,k}$	ϕ_k	δ_k	$c_{u,k}$	f	γ_m	
kN/m ³	deg.	deg.	N/mm ²		kN/m ³	
17,00	33,00	0,00	0,005	0,60	23,00	



SOVRACCARICO VARIABILE

Cat.	Ambienti	q_k	Q_k	H_k	nota
		kN/m ²	kN	kN/m	
C₅	Cat. C5. Aree suscettibili di grandi affollamenti, quali edifici per eventi pubblici, sale da concerto, palazzetti per lo sport e relative tribune, gradinate e piattaforme ferroviarie.	5,00	5,00	3,00	Q_k - impronta di carico 50 x 50 mm

ALTEZZA SOVRACCARICO

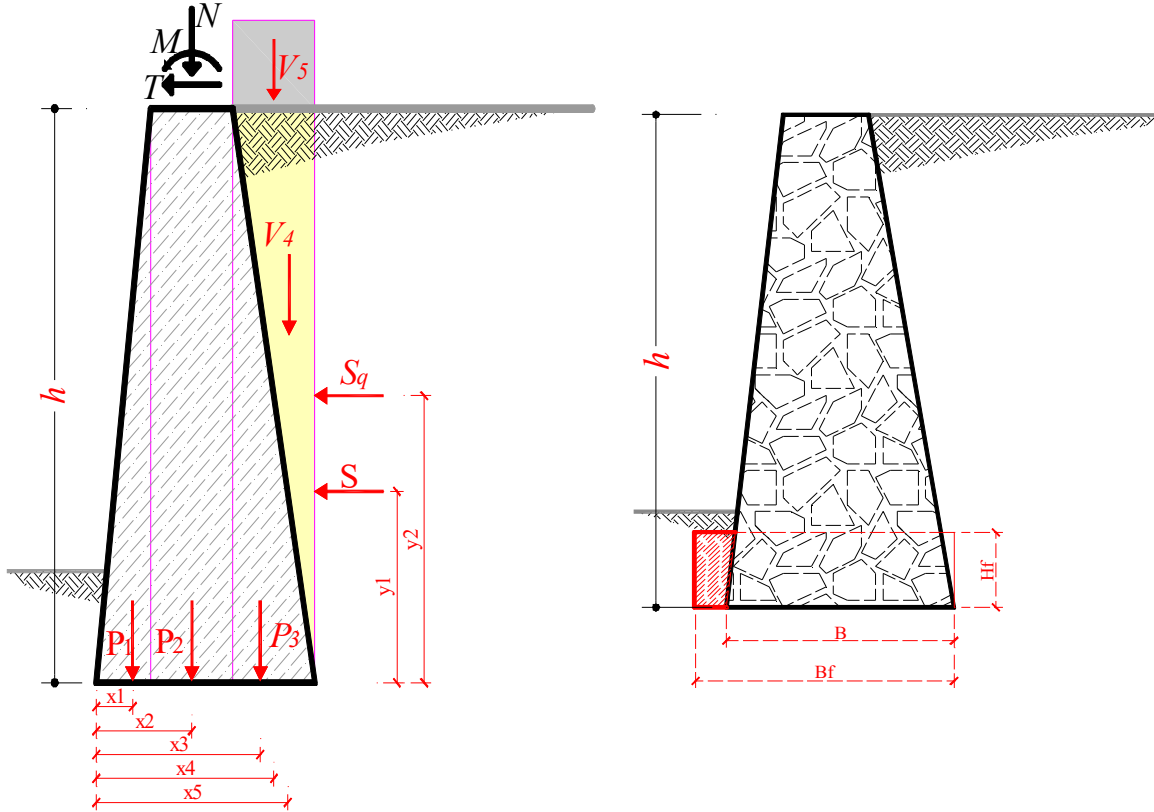
larghezza cuneo di max. spinta (si considera il solo carichi q_k)		$BX = h \cdot \tan(\pi/4 - \phi/2) = 4,00 \times \tan(180/4 - 33,00/2) =$	2,17 m
Altezza sovraccarico $h' >$	$\left\{ \begin{array}{l} Q_k / (BX \cdot \gamma_t) = 5,00 / (2,17 \times 17,00) = \\ q_k / \gamma_t = 5,00 / 17,00 = \end{array} \right.$		0,14 m
			0,29 m

AZIONI SOMMITÀ MURO

Azione normale $N =$	0,00	kN
Azione tagliante $T =$	0,00	kN
Momento $M =$	0,00	kNm
Sovraccarico distribuito che determina $h' q =$	5,00	kN/m ²

Dimensionamento Analitico spessore in sommità

$A = \gamma G_1(\gamma m \cdot h/2)/\gamma R_3 = 1 \times (23,00 \times 4,00/2)/1,5 =$	30,67
$B = [\gamma G_1(2 \cdot P_1 + P_3 + G_4)]/\gamma R_3 = [1 \times (2 \times 0,00 + 36,80 + 27,20)]/1,5 =$	42,67
$C = \{a \cdot [\gamma G_1(2/3 \cdot P_1 + P_3 + G_4)] + c \cdot [\gamma G_1(P_3/3 + 2/3 \cdot G_4)]\}/\gamma R_3 - Ed =$ $= \{0,00 \times [1 \times (2/3 \times 0 + 36,8 + 27,2)] + 0,80 \times [1 \times (36,8/3 + 2/3 \times 27,2)]\}/1,5 - 87,18 \cdot$	-70,97
$b = [-B + \sqrt{(B^2 - 4 \cdot A \cdot C)}] / (2 \cdot A) = \{-42,67 + \sqrt{[42,67^2 - 4 \times 30,67 \times (-70,97)]} / (2 \times 30,67) =$	0,98



Nota

per il progetto si impone che sia verificata la stabilità a ribaltamento e si impone, prudenzialmente, le azioni in sommità pari a zero

Approccio 2, Combinazione (A₁+M₁+R₃)

1) Rd - Ed = 0 dove:

$Ed = \gamma G_1(S \cdot \gamma_1) + \gamma G_2(M + T \cdot \gamma_3) + \gamma Q_1(Sq \cdot \gamma_2) =$ $= 1,3 \times (40,09 \times 1,33) + 1,5 \times (0,00 \times 4,00 + 0,00) + 1,5 \times (5,90 \times 2,00) =$	87,18
$Rd = 1/\gamma R_3 \cdot \{ \gamma G_1[P_1 \cdot x_1 + \gamma m \cdot b \cdot h \cdot (a+b/2) + P_3 \cdot x_3 + G_4 \cdot x_4] + \gamma G_2(N \cdot x_2) + \gamma Q_1(G_5 \cdot x_5) \} =$ $= 1/\gamma R_3 \cdot \{ \gamma G_1[P_1 \cdot 2/3 \cdot a + \gamma m \cdot b \cdot h \cdot (a+b/2) + P_3 \cdot (a+b+c/3) + G_4 \cdot (a+b+2/3 \cdot c)] + \gamma G_2[N \cdot (a+b/2a)] + \gamma Q_1[G_5 \cdot (a+b+c/2)] \}$	

sviluppando e ordinando Rd e ricordando che $\gamma Q_1 = 0$ $N = 0$

$$b^2 \cdot [\gamma G_1(\gamma m \cdot h/2)]/\gamma R_3$$

$$b \cdot [\gamma G_1(\gamma m \cdot a \cdot h + P_3 + G_4) + \gamma G_2(N/2) + \gamma Q_1(G_5)]/\gamma R_3 = b \cdot [\gamma G_1(2 \cdot P_1 + P_3 + G_4) + \gamma G_2(N/2) + \gamma Q_1(G_5)]/\gamma R_3$$

$$a \cdot [\gamma G_1(2/3 \cdot P_1 + P_3 + G_4) + \gamma G_2(N) + \gamma Q_1(G_5)]/\gamma R_3$$

$$c \cdot [\gamma G_1(P_3/3 + 2/3 \cdot G_4) + \gamma G_2(N) + \gamma Q_1(G_5/2)]/\gamma R_3 - Ed$$

Verifica a Ribaltamento	NTC 6.5.3.1.1 Muri di sostegno - Lo stato limite di ribaltamento deve essere effettuato secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A ₁ +M ₁ +R ₃), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.calcolo delle spinte.
--------------------------------	--

Approccio 2, Combinazione (A₁+M₁+R₃)

Tab. 6.2.II - Parametri geotecnici

M ₁						
$\gamma\phi'$	$\gamma\gamma$	ϕ_k	δ_k	$\gamma_{t,k}$	$\phi_d = \arctan[\tan(\phi_k)/\gamma(\phi')] = \arctan[\tan(33,000)/1,00] =$	33,00 deg
					$\delta_d = \arctan[\tan(\delta_k)/\gamma(\phi')] = \arctan[\tan(30,964)/1,00] =$	30,96 deg
1,00	1,00	33,00	30,96	17,00	$\gamma_{td} = \gamma_{t,k}/\gamma\gamma = 17,00/1,00 =$	17,00 kN/m ³

Azioni di progetto «Ed»

Coefficiente Spinta attiva (M ₂) → $k_{a2} = \tan^2(\pi/4 - \phi_d/2) = \tan^2(45 - 33,00/2) =$	0,2948
Spinta Terrapieno → $S = \gamma_{t,d} \cdot h^2 \cdot k_{a2} / 2 = 17,00 \times 4,00^2 \times 0,2948 / 2 =$	40,09 kN
braccio Spinta Terrapieno → $y_1 = h/3 = 4,00/3 =$	1,33 m
Spinta sovraccarico → $S_s = \gamma_{t,d} \cdot h \cdot h' \cdot k_{a2} = 17,00 \times 4,00 \times 0,29 \times 0,2948 =$	5,90 kN
braccio Spinta Sovraccarico → $y_2 = h/2 = 4,00/2 =$	2,00 m
azione tagliante in sommità del muro → T =	0,00 kN
braccio azione tagliante in sommità del muro → $y_3 = h =$	4,00 m
azione momento in sommità del muro → M =	0,00 kN·m

Azioni di progetto «Ed» - (Carichi "Sfavorevoli")

γF (A ₁) Sfavorevoli (Tab. 2.6.I)			
γG ₁	γG ₂	γQ _i	
1,30	1,50	1,50	

$$Ed = \gamma G_1 \cdot (S \cdot y_1) + \gamma G_2 \cdot (T \cdot y_3 + M) + \gamma Q_1 \cdot (S_s \cdot y_2) =$$

$$= 1,3 \times (40,09 \times 1,33) + 1,5 \times (0,00 \times 4,00 + 0,00) + 1,5 \times (5,90 \times 2,00) = 87,18 \text{ kN·m}$$

Momento Stabilizzante «Ms»

muro scarpa esterna →	$P_1 = \gamma m \cdot a \cdot h/2 = 23,00 \times 0,00 \times 4,00/2 =$	0,00 kN
braccio P ₁ →	$x_1 = 2/3 \cdot a = 2/3 \times 0,00 =$	0,00 m
muro corpo centrale →	$P_2 = \gamma m \cdot b \cdot h = 23,00 \times 1,00 \times 4,00 =$	92,00 kN
braccio P ₂ →	$x_2 = a + b/2 = 0,00 + 1,00/2 =$	0,50 m
muro scarpa interna →	$P_3 = \gamma m \cdot c \cdot h/2 = 23,00 \times 0,80 \times 4,00/2 =$	36,80 kN
braccio P ₃ →	$x_3 = a + b + c/3 = 0,00 + 1,00 + 0,80/3 =$	1,27 m
terrapieno sulla scarpa interna →	$G_4 = \gamma_{t,d} \cdot c \cdot h/2 = 17,00 \times 0,80 \times 4,00 =$	27,20 kN
braccio G ₄ →	$x_4 = a + b + 2/3 \cdot c / 2 = 0,00 + 1,00 + 2/3 \times 0,80 =$	1,53 m
sovraccarico sulla scarpa interna →	$G_5 = \gamma_{t,d} \cdot c \cdot h' = 17,00 \times 0,80 \times 0,29 =$	4,00 kN
braccio G ₅ →	$\rightarrow x_5 = a + b + c/2 = 0,00 + 1,00 + 0,80/2 =$	1,40 m
azione normale in sommità del muro →	N =	0,00 kN
braccio N →	$\rightarrow x_6 = a + b/2 = 0,00 + 1,00/2 =$	0,50 m

Momento stabilizzante «Ms» - (Carichi "Favorevoli")

γF (A ₁) Favorevoli (Tab. 2.6.I)			
γG ₁	γG ₂	γQ _i	
1,00	0,80	0,00	

$$Ms = [\gamma G_1 \cdot (P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 + G_4 \cdot x_4) + \gamma G_2 \cdot (N \cdot x_6) + \gamma Q_1 \cdot (G_5 \cdot x_5)] / \gamma R_3 =$$

$$= 1 \times (0,00 \times 0,00 + 92,00 \times 0,50 + 36,80 \times 1,27 + 27,20 \times 1,53) + 0,8 \times (0,00 \times 0,50) + 0 \times (4,00 \times 1,40) = 134,32 \text{ kN·m}$$

Resistenza di progetto «Rd»

ribaltamento: γR (Tab. 6.5.I)		
γR ₃		
1,50		
Rd = Ms/γR₃ = 134,32/1,50 = 89,5467 kN·m		

Verifica Ribaltamento (A₁+M₁+R₃) →

Ed = 87,18 kN·m < Rd = 89,55 kN·m → Verificato

**Verifica Scorrimento
sul piano di posa**

NTC 6.5.3.1.1 Muri di sostegno - Lo stato limite di scorrimento deve essere effettuato secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A₁+M₁+R₃), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e

Tab. 6.2.II - Parametri geotecnici

$\gamma\phi'$	γ_γ	ϕ_k	δ_k	$\gamma_{t,k}$	f	M_1
1,00	1,00	33,00	0,00	17,00	0,50	
						$\phi_d = \arctan[\tan(\phi_k)/\gamma(\phi')] = \arctan[\tan(33,000)/1,00] = 33,000 \text{ deg}$
						$\delta_d = \arctan[\tan(\delta)/\gamma(\phi')] = \arctan[\tan(0,000)/1,00] = 0,000 \text{ deg}$
						$\gamma_{td1} = \gamma_t/\gamma_\gamma = 17,00/1,00 = 17,000 \text{ kN/m}^3$
						angolo attrito terra-fondazione $\rightarrow \phi_{f,d} = \arctan[f/\gamma(\phi')] = \arctan(0,5/1) = 26,565 \text{ deg}$

Azioni di progetto «Ed» - (Carichi "Sfavorevoli")

Tabella 2.6.I - Coefficienti parziali $\rightarrow \gamma_F$ (A1) sfavorevoli			
	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_{Qi}
	1,30	1,50	1,50
Coefficiente Spinta attiva (M_1) $\rightarrow k_a = \tan^2(\pi/4 - \phi_d/2) = \tan^2(45 - 33,00/2) = 0,2948$			
Spinta Terrapieno $\rightarrow S = \gamma_{t,d} \cdot h^2 \cdot k_a / 2 = 17,00 \times 4,00^2 \times 0,2948 / 2 = 40,09 \text{ kN}$			
Spinta sovraccarico $\rightarrow S_s = \gamma_{t,d} \cdot h \cdot h' \cdot k_a = 17,00 \times 4,00 \times 0,29 \times 0,2948 = 5,90 \text{ kN}$			
azione tagliante in sommità del muro $\rightarrow T = 0,00 \text{ kN}$			
$Ed = \gamma_{G1} \cdot (S) + \gamma_{G2} \cdot (T) + \gamma_{Qi} \cdot (S_s) = 1,30 \times (40,09) + 1,50 \times (0,00) + 1,50 \times (5,90) = 60,96 \text{ kN}$			

Azioni Resistenti- (Carichi "favorevoli")

Tabella 2.6.I - Coefficienti parziali $\rightarrow \gamma_F$ (A1) favorevoli			
	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_{Qi}
	1,00	0,80	0,00
muro scarpa esterna \rightarrow	$P_1 = \gamma_m \cdot a \cdot h / 2 = 23,00 \times 0,00 \times 4,00 / 2 =$		0,00 kN
muro corpo centrale \rightarrow	$P_2 = \gamma_m \cdot b \cdot h = 23,00 \times 1,00 \times 4,00 =$		92,00 kN
muro scarpa interna \rightarrow	$P_3 = \gamma_m \cdot c \cdot h / 2 = 23,00 \times 0,80 \times 4,00 / 2 =$		36,80 kN
terrapieno sulla scarpa interna \rightarrow	$G_4 = \gamma_{t,d} \cdot c \cdot h / 2 = 17,00 \times 0,80 \times 4,00 / 2 =$		27,20 kN
sovraccarico sulla scarpa interna \rightarrow	$G_5 = \gamma_{t,d} \cdot c \cdot h' = 17,00 \times 0,80 \times 0,29 =$		4,00 kN
azione normale in sommità del muro \rightarrow	N =		0,00 kN
$A_R = f \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_1 + P_2 + P_3 + G_4) + \gamma_{G2} \cdot (N) + \gamma_{Qi} \cdot (G_5)] =$			
$= 0,5 \times [1,00 \times (0,00 + 92,00 + 36,80 + 27,20) + 0,80 \times (0,00) + 0,00 \times (4,00)] = 78,00 \text{ kN}$			

Resistenze di progetto «Rd» - (Carichi "favorevoli")

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R "Scorrimento"	
	γ_{R3}
	1,10
$R_d = A_R / \gamma_{R3} = 78,00 / 1,10 =$	70,91 kN

Verifica Scorrimento (A₁+M₁+R₃) \rightarrow

Ed = 60,96 kN < Rd = 70,91 kN \rightarrow Verificato

Verifica collasso dell'insieme fondazione-terreno

NTC 6.5.3.1.1 Muri di sostegno - Lo stato limite di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno (schiacciamento) deve essere effettuato secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A₁+M₁+R₃), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.calcolo delle spinte.

Tab. 6.2.II - Parametri geotecnici

M ₁					
γφ'	γ _γ	φ	δ	γt	
1,00	1,00	33,00	30,96	17,00	φd = arctan[tan(φ)/γ(φ')] = arctan[tan(33,000)/1,00] = 33,00 deg
					δd = arctan[tan(δ)/γ(φ')] = arctan[tan(30,964)/1,00] = 30,96 deg
					γtd = γt/γγ = 17,00/1,00 = 17,00 kN/m ³
					Coefficiente Spinta attiva (M ₁) → ka = tan ² (π/4-φd/2) = tan ² (45-33,00/2) = 0,2948

Approccio 2: Combinazione 1 (A₁+M₁+R₃)

Azioni Ribaltanti

Spinta Terrapieno →	S = γt·d·h ² ·ka/2 = 17,00x4,00 ² x0,2948/2 =	40,09 kN
braccio Spinta Terrapieno →	y ₁ = h/3 = 4,00/3 =	1,33 m
Spinta sovraccarico →	Ss = γt·d·h'·h'·ka = 17,00x4,00x0,29x0,2948 =	5,89602 kN
braccio Spinta Sovraccarico →	y ₂ = h/2 = 4,00/2 =	2 m
azione tagliante in sommità del muro →	T =	0 kN
braccio azione tagliante in sommità del muro →	y ₃ = h =	4 m
azione momento in sommità del muro →	M =	0,00 kN·m

Azioni Stabilizzanti

muro scarpa esterna →	P ₁ = γm·a·h/2 = 23,00x0,00x4,00/2 =	0,00 kN
braccio P ₁ →	x ₁ = 2/3·a = 2/3x0,00 =	0,00 m
muro corpo centrale →	P ₂ = γm·b·h = 23,00x1,00x4,00 =	92,00 kN
braccio P ₂ →	x ₂ = a + b/2 = 0,00x0,00/2 =	0,50 m
muro scarpa interna →	P ₃ = γm·c·h/2 = 23,00x0,80x4,00/2 =	36,80 kN
braccio P ₃ →	x ₃ = a+b+c/3 = 0,00+1,00+0,80/3 =	1,27 m
terrapieno sulla scarpa interna →	G ₄ = γt·d·c·h/2 = 17,00x0,80x4,00/2 =	27,20 kN
braccio G ₄ →	x ₄ = a+b+2/3·c = 0,00+1,00+2/3x0,80 =	1,53 m
sovraccarico sulla scarpa interna →	G ₅ = γt·d·c·h' = 17,00x0,80x0,29 =	4,00 kN
braccio G ₅ →	x ₅ = a+b+c/3 = 0,00+1,00+0,80/2 =	1,27 m
azione normale in sommità del muro →	N =	0,00 kN
braccio N →	x ₆ = a+b/2 = 0,00+1,00/2 =	0,50 m

Azioni di progetto «Ed» - (Carichi "Sfavorevoli")

γF (A ₁) Sfavorevoli (Tab. 2.6.I)			
γG ₁	γG ₂	γQ _i	
1,30	1,50	1,50	

Momento Ribaltante

Mr = γG ₁ ·(S·y ₁) + γG ₂ ·(M+T·y ₃) + γQ _i ·(Ss·y ₂) =	
= 1,3x(40,09x1,33 + 1,50x(0,00+0,00x4,00) + 1,50x(5,90x2,00) =	87,18 kN·m

Momento Stabilizzante

Ms = γG ₁ ·(P ₁ ·x ₁ +P ₂ ·x ₂ +P ₃ ·x ₃ +G ₄ ·x ₄) + γG ₂ ·(N·x ₆) + γQ _i ·(G ₅ ·x ₅) =	
= 1,3x(0,00x0,00+92,00x0,50+36,80x1,27+27,20x1,53) + 1,5x(0,00x0,50) + 1,5x(4,00x1,27) =	182,22 kN·m

Azione di Progetto

Ed = γG ₁ ·(P ₁ +P ₂ +P ₃ +G ₄) + γG ₂ ·(N) + γQ _i ·(G ₅) =	
= 1,3x(0,00+92,00+36,80+0,00) + 1,5x(0,00) + 1,5x(4,00) =	208,80 kN

Centro di Pressione

distanza centro pressione bordo più compresso → u = (Ms - Mr)/Ed = (182,22-87,18)/208,80 =	0,46 m
distanza baricentro-centro di pressione «eccentricità» → e = B/2-u = 1,80/2 -0,46 =	0,44 m

e = 0,44m > B/6 = 1,80/6 = 0,30m → risultante esterna al nocciolo centrale d'inerzia

base di fondazione B = a+b+c = 0,00+1,00+0,80 =	1,80 m
per avere la base tutta compressa considero una nuova base di fondazione Bf = 3/2·(B-u) = 3/2x(1,80-0,46) =	2,02 m
l'altezza della fondazione deve essere Hf ≥ 2·(Bf-B) = 2x(2,02-1,80) =	0,44 m
l'eccentricità riferita lla nuova base bf risulta e' = Bf/6 = 2,02/6 =	0,34 m

Resistenza di progetto «Rd» - (Carichi "Sfavorevoli")

capacità portante terreno fondazione (Carico Eccentrico)

formula di Brinch-Hansen "Fondazioni Nastriformi"

coesione $c = 0$

piano di posa e piano di campagna orizzontale

$$q_{lim} = \gamma \cdot D \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + \gamma_t \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

γ_t, d → peso specifico terreno

D → profondità piano posa fondazione

$B^* = B - 2 \cdot e$ → larghezza efficace fondazione (larghezza fittizia di calcolo)

N_c, N_q, N_γ → fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito ϕ ;

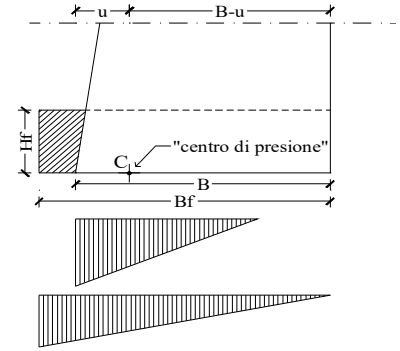
s_c, s_q, s_γ → fattori di forma della fondazione;

i_c, i_q, i_γ → fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;

b_c, b_q, b_γ → fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;

g_c, g_q, g_γ → fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;

d_c, d_q → fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa



fattori di capacità portante

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan(\phi d)} \cdot \tan^2(\pi/4 + \phi d/2) = 2,7183^{\pi \cdot \tan(\phi d)} \cdot \tan^2(\pi/4 + \phi d/2) = 26,09$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan(\phi d) = (26,09 - 1) / \tan(33,000) = 38,64$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi d) = 2 \cdot (26,09 - 1) \cdot \tan(33,000) = 32,59$$

coefficienti di forma

$$B^* = B_f - 2 \cdot e' = 2,02 - 2 \cdot 0,34 = 1,35 \quad \text{m}$$

sviluppo longitudinale muro → $L = 10,00 \quad \text{m}$

$$v_q = v_\gamma = 1 + 0,1 \cdot B^* / L \cdot \frac{[1 + \sin(\phi)]}{[1 - \sin(\phi)]} = 1 + 0,1 \cdot 1,35 / 10,00 \cdot \frac{[1 + \sin(33,000)]}{[1 - \sin(33,000)]} = 1,03$$

$$v_c = v_\gamma = 1 + 0,2 \cdot B^* / L \cdot \frac{[1 + \sin(\phi)]}{[1 - \sin(\phi)]} = 1 + 0,2 \cdot 1,35 / 10,00 \cdot \frac{[1 + \sin(33,000)]}{[1 - \sin(33,000)]} = 1,05$$

per le fondazioni nastriformi $L \gg B$, $v_q = v_\gamma = v_c = 1,00$

coefficienti di profondità

profondità piano posa fondazione → $D = 0,50 \quad \text{m}$

$$D/B^* = 0,50 / 1,35 = 0,37$$

$$D/B \geq 1 \rightarrow d_q = 1 + 2 \cdot D/B \cdot \tan(\phi) \cdot (1 - \sin(\phi))^2 = 1,10$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / [N_c \cdot \tan(\phi)] = 1,10$$

$$d_\gamma = 1,00$$

coefficienti di inclinazione del carico

$$\Sigma F_{x,d} = \gamma G_1 \cdot (S) + \gamma G_2 \cdot (T \cdot \gamma_3) + \gamma Q_1 \cdot (S_s) = 1,3 \times (40,09 + 1,50 \times (0,00 + 1,50 \times (5,90))) = 60,96 \quad \text{kN}$$

$$\Sigma F_{y,d} = \gamma G_1 \cdot (P_1 + P_2 + P_3 + G_4) + \gamma G_2 \cdot (N) + \gamma Q_1 \cdot (G_5) = 1,3 \times (0,00 + 92,00 + 36,80 + 0,00) + 1,5 \times (0,00) + 1,5 \times (4,00) = 208,80 \quad \text{kN}$$

$$m = (2 + B/L) / (1 + B/L) = (2 + 1,35/10,00) / (1 + 1,35/10,00) = 1,88$$

$$i_q = \left(1 - \frac{\Sigma F_{x,d}}{\Sigma F_{y,d}}\right)^m = \left(1 - \frac{60,96}{208,80}\right)^{1,88} = 0,52$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\Sigma F_{x,d}}{\Sigma F_{y,d}}\right)^{m+1} = \left(1 - \frac{60,96}{208,80}\right)^{1,88+1} = 0,37$$

per le fondazioni nastriformi ($L \gg B$) → $m = (2 + B/L) / (1 + B/L) = 2$

Carico limite Terreno Fondazione

$$q_{lim} = \gamma_t \cdot d \cdot D \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + \gamma_t \cdot B^* \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma = 17,00 \times 0,50 \times 26,09 \times 1,10 \times 0,52 + 17,00 \times 1,35 \times 32,59 \times 1,00 \times 0,37 = 280,79 \quad \text{kN}$$

Tabella 2.5.1 – Coefficienti parziali

γR_3
1,40

$$R_d = (q_{lim} \cdot B^* / \gamma R_3) = (280,79 \times 1,35 / 1,40) = 270,09 \quad \text{kN}$$

Verifica Schiacciamento ($A_1 + M_1 + R_3$) →

$E_d = 208,80 \quad \text{kN} < R_d = 270,09 \quad \text{kN}$ → Verificato

VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

CURVA CRITICA A VALLE

* A-A1 → valore arbitrario (minimo)
 * A-A₂ = A-A₁ + H_f

* $\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$
 * $2\beta = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$
 * $\gamma = \frac{3}{8} \cdot \pi + \frac{\varphi}{4}$

* $\overline{A_2 B} = \overline{AA_2} \cdot \text{tg} \left(\frac{3}{8} \cdot \pi + \frac{\varphi}{4} \right)$

* $R_1 = \frac{\overline{A_2 B}}{\text{sen} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)}$

* $R_1 = \frac{\overline{A_2 B}}{\cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}$

CURVA CRITICA A MONTE

* A-A1 → valore arbitrario (minimo)
 * A-A₃ = A-A₁ + h

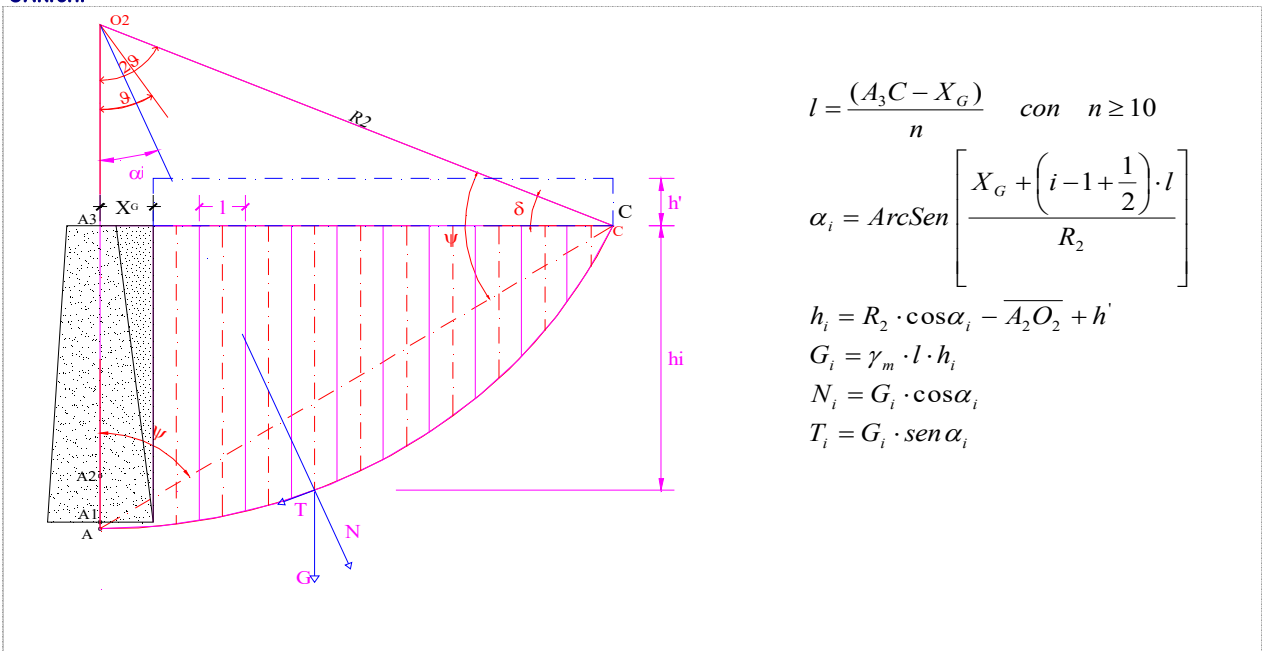
* $\delta = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}$
 * $2\vartheta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$
 * $\psi = \frac{3}{8} \pi - \frac{\varphi}{4}$

* $\overline{A_3 C} = \overline{AA_3} \cdot \text{tg} (\psi)$

* $R_2 = \frac{\overline{A_3 C}}{\text{sen} (2\vartheta)}$

* $R_2 = \frac{\overline{A_3 C}}{\cos (\delta)}$

CARICHI



$$l = \frac{(A_3C - X_G)}{n} \quad \text{con } n \geq 10$$

$$\alpha_i = \text{ArcSen} \left[\frac{X_G + \left(i - 1 + \frac{1}{2}\right) \cdot l}{R_2} \right]$$

$$h_i = R_2 \cdot \cos \alpha_i - \overline{A_2O_2} + h'$$

$$G_i = \gamma_m \cdot l \cdot h_i$$

$$N_i = G_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$T_i = G_i \cdot \sin \alpha_i$$

Verifica Insieme Terra-Muro	NTC 6.5.3.1.1 Muri di sostegno -La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A ₂ +M ₂ +R ₂), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I
------------------------------------	--

n striscie	X _G	γt, k	φk		c	AA ₁	AA ₂	AA ₃	baricentro sezione →	
	m	kN/m ³	deg	rad	kN/m ²	m	m	m		
10,00	0,94	17,00	33,0	0,58	0,01	0,25	0,75	4,25	$XG = B - M / \Sigma \gamma = 1,78 - 134,32 / 156,00 = 0,94 \text{ m}$ $\Sigma \gamma = P_1 + P_2 + P_3 + G_4 = 156,00 \text{ kN}$ $M = P_1 \cdot x_1 + P_2 \cdot x_2 + P_3 \cdot x_3 + G_4 \cdot x_4 = 134,32 \text{ kN} \cdot \text{m}$	

Tab. 6.2.II - Parametri geotecnici

M ₂			
γφ'	γc'	γcu	γγ
1,25	1,25	1,40	1,00
$\phi d = \arctan[\tan(\phi k) / \gamma(\phi')] = \arctan[\tan(33,000) / 1,25] = 27,45 \text{ deg}$ $c' d = c' k / \gamma c' = 0,005 / 1,40 = 0,003571 \text{ N/mm}^2$ $\gamma t d = \gamma t / \gamma \gamma = 17,00 / 1 = 17,00 \text{ kN/m}^3$			

Curva a Valle	
$\alpha = \pi/4 + \phi d/2 = 180/4 + 27,453/2 = 58,727 \text{ deg}$	58,727 deg
$2\beta = \pi/4 - \phi d/2 = 180/4 - 27,453/2 = 31,273 \text{ deg}$	31,273 deg
$\gamma = 3/8 \cdot \pi + \phi d/4 = 3/8 \times 180 + 27,453/4 = 67,500 \text{ deg}$	67,500 deg
$R_1 = AA_2 \cdot \text{tg}(\gamma) / \cos(\alpha) = 0,75 \times \tan(67,500) / \cos(58,727) = -13,28 \text{ m}$	-13,28 m

Curva A Monte	
$\delta = \pi/4 - \phi d/2 = 180/4 - 27,453/2 = 32,273 \text{ deg}$	32,273 deg
$2\theta = \pi/4 + \phi d/2 = 180/4 + 27,453/2 = 193,727 \text{ deg}$	193,727 deg
$\psi = 3/8 \cdot \pi - \phi d/4 = 3/8 \times 180 - 27,453/4 = 60,637 \text{ deg}$	60,637 deg
$A_3 C = AA_3 \cdot \text{tg}(\psi) = 4,25 \times \tan(60,637) = 7,55 \text{ m}$	7,55 m
$R_2 = AA_3 \cdot \text{tg}(\psi) / \cos(\delta) = 4,25 \times \tan(60,637) / \cos(32,273) = 8,93 \text{ m}$	8,93 m
$O_2 A_3 = R_2 - AA_3 = 7,55 - 4,25 = 4,68 \text{ m}$	4,68 m
$h' = q / \gamma t, d = 0,29 \text{ m}$	0,29 m
$l = (A_3 C - XG) / n = (7,55 - 0,94) / 10 = 0,66 \text{ m}$	0,66 m
angolo arco C'C = $[2\theta - \arcsin(XG/R_2)] = [193,727 - \arcsin(0,94/8,93)] = 187,69 \text{ deg}$	187,69 deg
arco C'C = $R_2 \cdot [2\theta - \arcsin(XG/R_2)] = L = 8,93 \times [193,727 - \arcsin(0,94/8,93)] = 29,27 \text{ m}$	29,27 m
$\alpha_i = \arcsin [XG + (0,50 + i - 1) \cdot l] / R_2$	
$h_{mi} = R_2 \cdot \cos(\alpha_i) - O_2 A_3$	
$\Delta G_i = \gamma t, d \cdot l \cdot h_{mi}$	
$\Delta G_i' = \gamma t, d \cdot l \cdot h'$	
$\Delta N_i = \Delta G_i \cdot \cos(\alpha_i)$	
$\Delta T_i = \Delta G_i \cdot \sin(\alpha_i)$	

nel seguente calcolo si considerano solo le azioni sulla curva a monte

Strisc.	Xg	l	γt,d	α _i rad	h _{mi}	ΔG _i	ΔN _i	ΔT _i	ΔG _i '	ΔN _i '	ΔT _i '	c · L
1,00	0,94	0,66	17,00	0,14	4,16	46,77	46,30	6,65	3,31	3,27	0,47	
2,00	0,94	0,66	17,00	0,22	4,04	45,42	44,34	9,82	3,31	3,23	0,71	
3,00	0,94	0,66	17,00	0,29	3,87	43,47	41,60	12,61	3,31	3,17	0,96	
4,00	0,94	0,66	17,00	0,37	3,64	40,89	38,08	14,89	3,31	3,08	1,20	
5,00	0,94	0,66	17,00	0,45	3,35	37,63	33,82	16,49	3,31	2,97	1,45	
6,00	0,94	0,66	17,00	0,54	2,99	33,61	28,86	17,22	3,31	2,84	1,69	
7,00	0,94	0,66	17,00	0,63	2,55	28,71	23,26	16,83	3,31	2,68	1,94	
8,00	0,94	0,66	17,00	0,72	2,02	22,77	17,10	15,04	3,31	2,48	2,18	
9,00	0,94	0,66	17,00	0,82	1,38	15,51	10,53	11,39	3,31	2,24	2,43	
10,00	0,94	0,66	17,00	0,94	0,57	6,45	3,80	5,22	3,31	1,95	2,67	
							287,68	126,16		27,92	15,72	0,15

Azioni di progetto «Ed» - (Carichi "Sfavorevoli")

Tabella 2.6.I - Coefficienti parziali → γ _F (A ₂) sfavorevoli			
γG ₁	γG ₂	γQ _i	
1,00	1,30	1,30	
$Ed = \gamma G_1 \cdot \Sigma(\Delta T_i) + \gamma G_2 \cdot (0) + \gamma Q_i \cdot \Sigma(\Delta T_i') =$ $= 1,00 \times \Sigma(126,16) + 1,30 \times (0) + 1,30 \times \Sigma(15,72) = 146,60 \text{ kN}$			

Azioni Resistenti - (Carichi "favorevoli")

Tabella 2.6.1 – Coefficienti parziali → γ_F (A_2) favorevoli

	γ_{G1}	γ_{G2}	γ_{Qi}
	1,00	0,80	0,00
<i>(considerando la coesione)</i>			
$A_{r,d} = \gamma_{G1} \cdot [c_{u,d} \cdot L + \sum \Delta N_i \cdot \tan(\phi_{t,d})] + \gamma_{G2} \cdot (0) + \gamma_{Q1} \cdot [\sum \Delta N_i' \cdot \tan(\phi_{t,d})] =$ $= 1,00 \times [(0,00 \times 10^3) \times 29,27 + \sum (287,68 \times \tan(27,453))] + 0,80 \times 0 + 0 \times [\sum (27,92 \times \tan(27,453))] = 253,98 \text{ kN}$			
<i>(non considerando la coesione)</i>			
$A_{r,d} = \gamma_{G1} \cdot \sum \Delta N_i \cdot \tan(\phi_{t,d}) + \gamma_{G2} \cdot (0) + \gamma_{Q1} \cdot \sum \Delta N_i' \cdot \tan(\phi_{t,d}) =$ $= 1,00 \times \sum 287,68 \times \tan(27,453) + 0,80 \times 0 + 0 \times \sum 27,92 \times \tan(27,453) = 149,46 \text{ kN}$			

Resistenze di progetto «Rd»

Tabella 6.8.1 - Coefficienti parziali γ_R

	γ_{R2}
	1,10
(considerando la coesione)	$R_d = A_{r,d} / \gamma_{R2} = 253,98 / 1,10 = \mathbf{230,89 \text{ kN}}$
(non considerando la coesione)	$R_d = A_{r,d} / \gamma_{R2} = 149,46 / 1,10 = \mathbf{135,87 \text{ kN}}$

(considerando la coesione)

verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno ($A_2+M_2+R_2$) →

$E_d = 146,60 \text{ kN} < R_d = 230,89 \text{ kN} \rightarrow$ Verificato

non considerando la coesione

verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno ($A_2+M_2+R_2$) →

$E_d = 146,60 \text{ kN} > R_d = 135,87 \text{ kN} \rightarrow$ NON Verificato