

- DM 14.01.08 (pubblicato su G.U. del 04.02.2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni

CAP. 6 – PROGETTAZIONE GEOTECNICA

§ 6.4 – Opere di fondazione

§ 6.4.2 – Fondazioni superficiali

§ 6.4.2.1 - Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

Le fondazioni superficiali devono essere verificate almeno con riferimento a meccanismi di rottura per carico limite e scorrimento.

La verifica della condizione (6.2.1) può essere effettuata, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I, seguendo almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: $(A1+M1+R1)$
- Combinazione 2: $(A2+M2+R2)$

Approccio 2:

$(A1+M1+R3)$

Nelle verifiche effettuate con l'approccio 1, devono essere prese in considerazione entrambe le combinazioni.

- DM 14.01.08 (pubblicato su G.U. del 04.02.2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni

Resistenza di progetto, $R_d \geq$ Azioni (o effetto delle azioni) di progetto, E_d

Approccio 1:

– Combinazione 1: (A1+M1+R1)

– Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE γ_F	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati ⁽¹⁾ (non strutturali)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cs}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

- DM 14.01.08 (pubblicato su G.U. del 04.02.2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni

Resistenza di progetto, $R_d \geq$ Azioni (o effetto delle azioni) di progetto, E_d

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	γ_F	1,0	1,0
	Sfavorevole	γ_{G1}	1,3	1,0
Permanenti portati ⁽¹⁾ (non strutturali)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{G3}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

Approccio 1:

– Combinazione 1: (A1+M1+R1)

– **Combinazione 2: (A2+M2+R2)**

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_φ	1,0	1,25
Coestione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cs}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_y	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

- DM 14.01.08 (pubblicato su G.U. del 04.02.2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni

Resistenza di progetto, $R_d \geq$ Azioni (o effetto delle azioni) di progetto, E_d

Approccio 2:

(A1+M1+R3)

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati ⁽¹⁾ (non strutturali)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
		γ_M		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
Coestione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{nk}	γ_{cn}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 6.4.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

- DM 14.01.08 (pubblicato su G.U. del 04.02.2008)

Norme Tecniche per le Costruzioni

Resistenza di progetto, $R_d \geq$ Azioni (o effetto delle azioni) di progetto, E_d

6.4.3 FONDAZIONI SU PALI

6.4.3.1 Verifiche agli stati limite ultimi (SLU)

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2:

(A1+M1+R3).

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE γ_F	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti (strutturali)	Favorevole	γ_{G1}	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,3	1,0
Permanenti portati ⁽¹⁾ (non strutturali)	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano computatamente definiti e non variabili nel tempo, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	γ_{φ}	1,0	1,25
Coestione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cd}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_s	1,0	1,0

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

VERIFICHE

OPERE DI SOSTEGNO

VERIFICHE

OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE

Stati Limite Ultimi di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU):

1. Stabilità globale dell'insieme opera-terreno
2. Scorrimento sul piano di posa
3. Collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno
4. Ribaltamento (non considerare R_p)

Stati Limite Ultimi di tipo strutturale (STR):

1. Raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

VERIFICHE

OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE

Stabilità globale e muri di sostegno con ancoraggio:

Approccio 1

Combinazione 2: $A2 + M2 + R2$

Tutte le altre, con almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: $A1 + M1 + R1$ (STR)

Combinazione 2: $A2 + M2 + R2$

Approccio 2:

Combinazione: $A1 + M1 + R3$

(se finalizzata al dimensionamento strutturale, non considerare γ_R)

VERIFICHE SLU

AZIONI

$$E_d = E [\gamma_F F_k] X_k / \gamma_M ; a_d]$$

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>	γ_F	<i>EQU</i>	<i>(A1)STR</i>	<i>(A2)GEO</i>
permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1	1
	sfavorevole		1.1	1.3	1
Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	γ_{Qi}	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Classificazione delle azioni (NTC 2008)

AZIONI PERMANENTI (G1)

Peso proprio degli elementi strutturali (travi, pilastri, solai)

Spinta del terreno in condizioni statiche

Spinta dell'acqua

AZIONI PERMANENTI “NON STRUTTURALI” (G2)

Dovute a “*carichi non rimovibili durante il normale esercizio della costruzione*”

- tamponature esterne
- divisori interni
- massetti, isolamenti, pavimenti
- intonaci, controsoffitti

AZIONI VARIABILI (Q)

- sovraccarichi su solai e coperture
- vento
- neve

VERIFICHE SLU

$$E_d = E [\gamma_F F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d]$$

PARAMETRI GEOTECNICI

$$R_d = (1/\gamma_R) R [\gamma_F F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d]$$

<i>Parametro</i>	<i>grandezza cui applicare γ_M</i>	γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1	1

VERIFICHE SLU

OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE

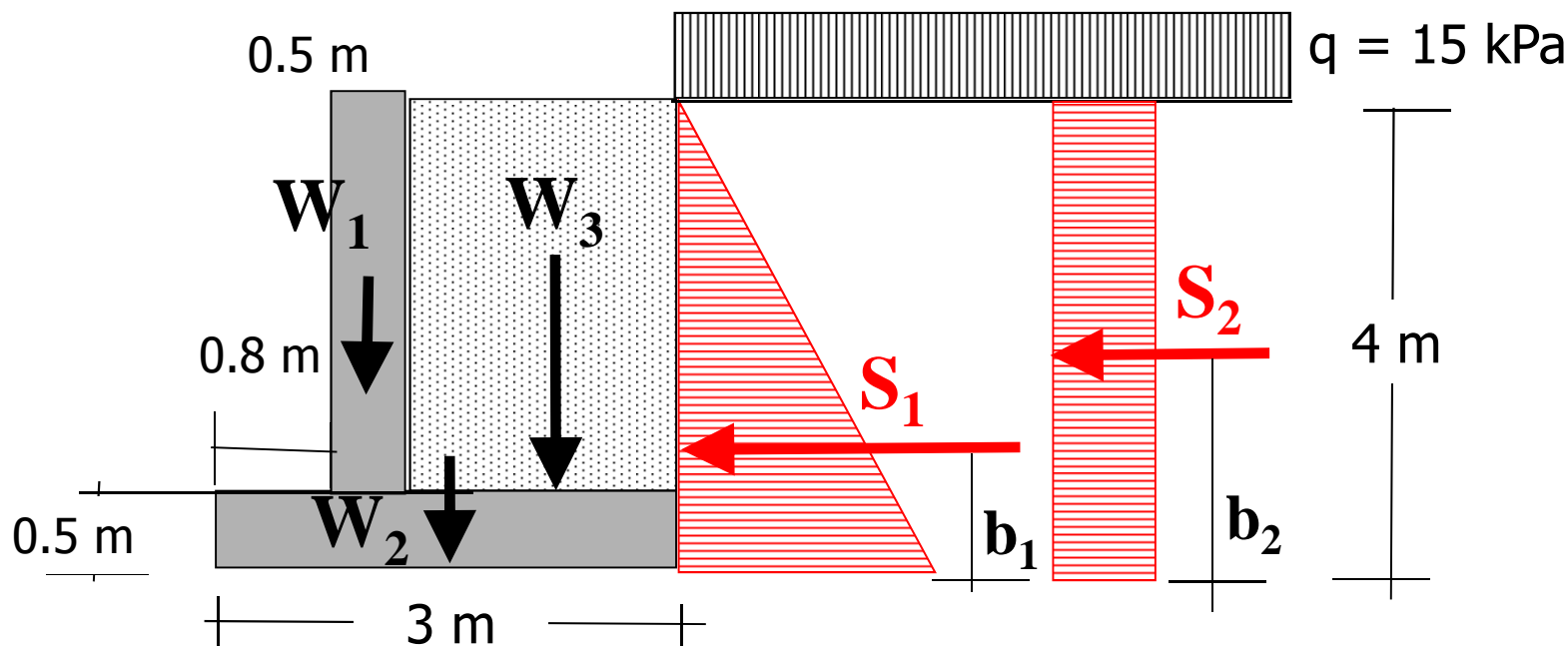
RESISTENZE

$$R_d = (1/\gamma_R) R_k [\gamma_F F_k ; X_k / \gamma_M ; a_d]$$

<i>verifica</i>	<i>(R1)</i>	<i>(R2)</i>	<i>(R3)</i>
capacità portante fondazione	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1.4$
scorrimento	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1.1$
resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1$	$\gamma_R = 1.4$

VERIFICHE SLU OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

Dati di progetto: sovraccarico verticale permanente $q = 15 \text{ kPa}$
Limo sabbioso NC: $c_{u,k} = 70 \text{ kPa}$; $c'_k = 0$; $\phi'_k = 28^\circ$, $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$
Riempimento granulare: $\phi'_k = 35^\circ$, $\gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$



VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE

Esempio di calcolo

VERIFICA RIBALTAMENTO:

*La normativa specifica che la verifica a ribaltamento va trattata come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i relativi coefficienti parziali sulle azioni ed adoperando i coefficienti parziali del gruppo **M2** per il calcolo delle spinte:*

Azioni: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1$, $\gamma_\phi = 1.25 \Rightarrow$

$$\phi'_d: \arctan(\tan \phi' / \gamma_\gamma) = \arctan(\tan 28^\circ / 1.25) = 23^\circ$$

$$k_a = (1 - \sin 23^\circ) / (1 + \sin 23^\circ) = 0.438$$

$$S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m}$$

$$S_1 = 63.1 \text{ kN/m} \quad b_1 = 1.33 \text{ m} \quad \gamma_{G1} = 1.1$$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kN/m}^3 \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.2 \text{ kN/m}$$

$$S_2 = 26.2 \text{ kN/m} \quad b_2 = 2 \text{ m} \quad \gamma_{G2} = 1.5$$

$$E_d = S_1 b_1 \gamma_{G1} + S_2 b_2 \gamma_{G2} = 63.1 \times 1.33 \times 1.1 + 26.2 \times 2 \times 1.5 = 170.9 \text{ kN m/m}$$

$$W_1 = 43.7 \text{ kN/m} \quad a_1 = 1.05 \text{ m} \quad M_1 = 45.88 \text{ kN m/m}$$

$$W_2 = 37.5 \text{ kN/m} \quad a_2 = 1.5 \text{ m} \quad M_2 = 56.25 \text{ kN m/m}$$

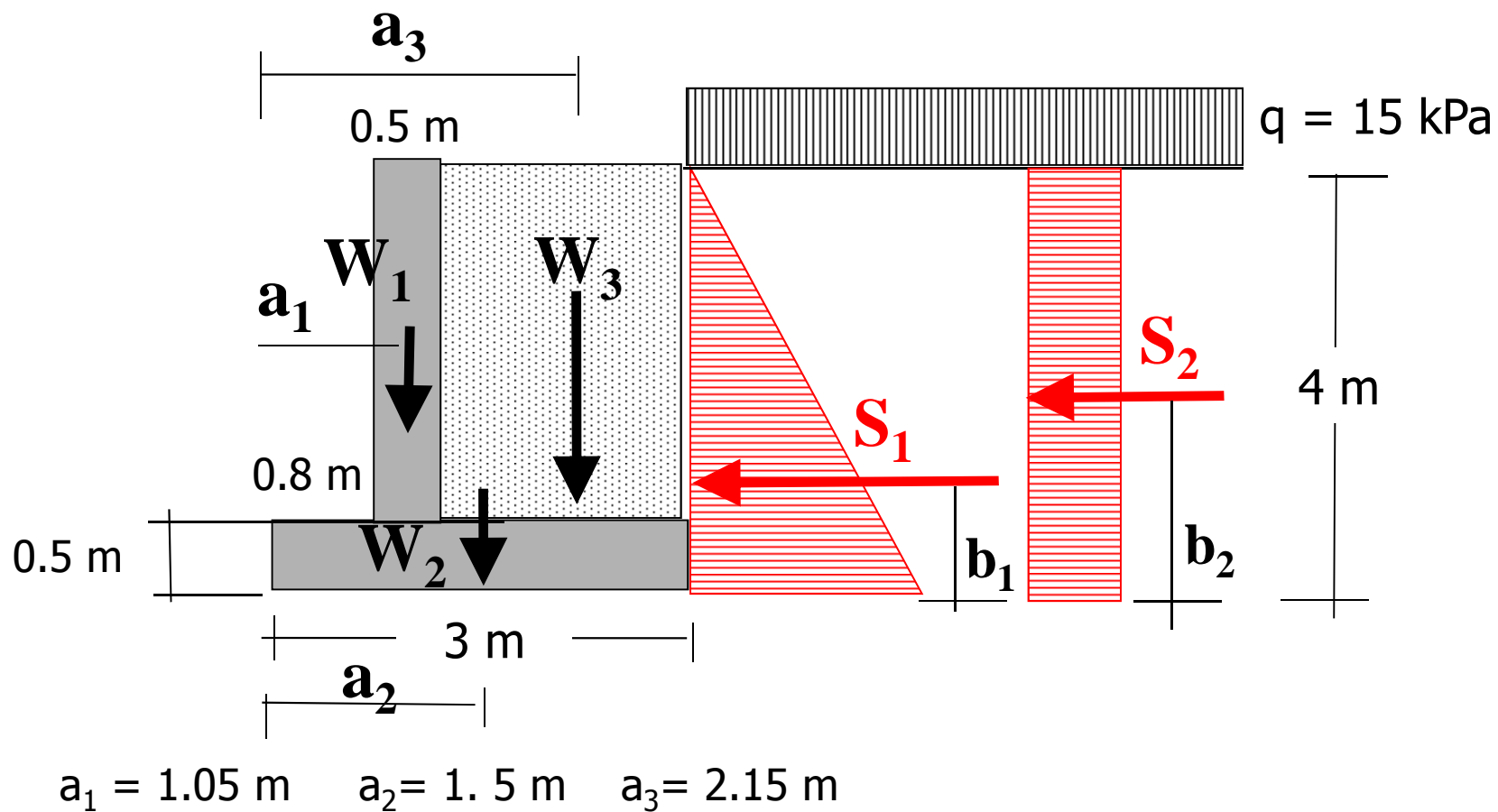
$$W_3 = 119 \text{ kN/m} \quad a_3 = 2.15 \text{ m} \quad M_3 = 255.85 \text{ kN m/m}$$

R_p non deve essere considerata

$$\gamma_{G1} = 0.9 \Rightarrow R_d = 0.9 \times (M_1 + M_2 + M_3) = 322.1 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **170.9 kN m/m < 322.1 kN/m** **OK!**

VERIFICHE SLU OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo



VERIFICHE
OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE
Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE: Approccio 1, Combinazione 1: A1+ M1+ R1

Calcolo eccentricità: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1, \gamma_\phi = 1 \Rightarrow k_a = (1 - \sin 28^\circ) / (1 + \sin 28^\circ) = 0.36$

$$\begin{aligned} S_1 &= 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.8 \text{ kN/m} & b_1 &= 1.33 \text{ m} \\ S_2 &= q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m} & b_2 &= 2 \text{ m} \\ S &= 51.8 + 21.6 = 73.4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M = 51.8 \times 1.33 + 21.6 \times 2 = 112.1 \text{ KN m/m}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m} & a_1 &= 1.05 \text{ m} \\ W_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m} & a_2 &= 1.5 \text{ m} \\ W_3 &= 20 \text{ kN/m}^3 \times 1.7 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 119 \text{ kN/m} & a_3 &= 2.15 \text{ m} \\ W &= 43.75 + 37.5 + 119 = 200.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (W_1 a_1 + W_2 a_2 + W_3 a_3 - M) / W = \\ a &= (43.75 \times 1.05 + 37.5 \times 1.5 + 119 \times 2.15 - 112.1) / 200.25 = 1.23 \text{ m} \end{aligned}$$

$$e = 1.5 - 1.23 = 0.27 \text{ m} \quad B' = B - 2e = 3 - 0.54 = 2.46 \text{ m}$$

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE:

Approccio 1, Combinazione 1: **A1+ M1+ R1**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1.3} = 260.3 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$q_{lim} = c_{u,d} \times N_c \times (i_c^o)(b_c^o)(g_c^o) + \gamma_d D$$

$$c_{u,d} = c_u / \gamma_{cu} \quad \gamma_{cu} = \mathbf{1} \quad c_{u,d} = c_u / \mathbf{1} = 70 \text{ kPa}$$

$$i_c^o = 1 - (m S_{tot}) / (B' c_u N_c) \quad m = (2+B/L)/(1+B/L) = 2$$

$$i_c^o = 1 - (2 \times 73.4) / (2.46 \times 70 \times 5.14) = 0.83$$

$$q_{lim} = 70 \times 5.14 \times 0.83 \times + 18 \times 0.5 = 308 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1} \quad \Rightarrow \quad R_d = 308 \times 2.46 / \mathbf{1} = 758 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **260.3 kN/m < 758 kN/m** **OK!**

VERIFICHE
OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE
Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE: Approccio 1, Combinazione 2: A2+ M2+R2

Calcolo eccentricità: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1$, $\gamma_\phi = 1.25 \Rightarrow k_a = (1 - \sin 23^\circ) / (1 + \sin 23^\circ) = 0.438$

$$\begin{aligned} S_1 &= 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m} & b_1 &= 1.33 \text{ m} \\ S_2 &= q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.3 \text{ kN/m} & b_2 &= 2 \text{ m} \\ S &= 63.1 + 26.3 = 89.4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M = 63.1 \times 1.33 + 26.3 \times 2 = 136.5 \text{ KN m/m}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m} & a_1 &= 1.05 \text{ m} \\ W_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m} & a_2 &= 1.5 \text{ m} \\ W_3 &= 20 \text{ kN/m}^3 \times 1.7 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 119 \text{ kN/m} & a_3 &= 2.15 \text{ m} \\ W &= 43.75 + 37.5 + 119 = 200.25 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (W_1 a_1 + W_2 a_2 + W_3 a_3 - M) / W = \\ a &= (43.75 \times 1.05 + 37.5 \times 1.5 + 119 \times 2.15 - 136.5) / 200.25 = 1.10 \text{ m} \end{aligned}$$

$$e = 1.5 - 1.10 = 0.40 \text{ m} \quad B' = B - 2e = 3 - 2 \times 0.4 = 2.20 \text{ m}$$

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE:

Approccio 1, Combinazione 2: **A2+ M2+ R2**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1} = 200.25 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$q_{lim} = c_{u,d} \times N_c \times (i_c^o) (b_c^o) (g_c^o) + \gamma_d D$$

$$c_{u,d} = c_u / \gamma_{cu} \quad \gamma_{cu} = \mathbf{1.4} \quad c_{u,d} = 70 / \mathbf{1.4} = 50 \text{ kPa}$$

$$i_c^o = 1 - (m S_{tot}) / (B' c_u N_c) \quad m = (2+B/L) / (1+B/L) = 2$$

$$i_c^o = 1 - (2 \times 89.4) / (2.20 \times 50 \times 5.14) \quad m = (2+B/L) / (1+B/L) = 2$$

$$q_{lim} = 0.72 \times 50 \times 5.14 + 18 \times 0.5 = 194 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1} \Rightarrow R_d = 194 \times 2.20 / \mathbf{1} = 426.8 \text{ KN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **200.25 kN/m < 426.8 kN/m OK!**

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE:

Approccio 2 : **A1**+ **M1**+ **R3**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1.3} = 260.3 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$q_{lim} = c_{u,d} \times N_c \times (i_c^o)(b_c^o)(g_c^o) + \gamma_d D$$

$$c_{u,d} = c_u / \gamma_{cu} \quad \gamma_{cu} = \mathbf{1} \quad c_{u,d} = c_u / \mathbf{1} = 70 \text{ kPa}$$

$$i_c^o = 1 - (m S_{tot}) / (B' c_u N_c) \quad m = (2+B/L)/(1+B/L) = 2$$

$$i_c^o = 1 - (2 \times 73.4) / (2.46 \times 70 \times 5.14) = 0.83$$

$$q_{lim} = 70 \times 5.14 \times 0.83 \times + 18 \times 0.5 = 308 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1.4} \quad \Rightarrow \quad R_d = 308 \times 2.46 / \mathbf{1.4} = 667.7 \text{ KN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **260.3 kN/m < 667.7 kN/m** **OK!**

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 1, Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.84 \text{ kN/m}$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{G1} = 1.3, \quad \gamma_{G2} = 1.5,$$

$$E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 51.84 \times 1.3 + 21.6 \times 1.5 = 99.8 \text{ kN/m}$$

Resistenze:

$$W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.7 \text{ kN/m}$$

$$W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$$

$$W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$$

$$W = 200.2 \text{ kN/m}$$

$$\text{angolo di attrito muro-terreno } \phi_w = \phi'; \quad \gamma_\phi = 1; \quad \phi_w = 28^\circ$$

$$T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 28^\circ = 106.4 \text{ kN/m}$$

$$k_p = (1 + \sin 28^\circ) / (1 - \sin 28^\circ) = 2.77$$

$$R_p (\text{met\`a}) = 0.5 (0.5 \times 18 \times 0.5^2 \times 2.77) = 3.1 \text{ kN/m (trascuriamo)}$$

$$\gamma_R = 1 \Rightarrow R_d = 106.4 / 1 = 106.4 \text{ kN/m}$$

Verifica:

$$E_d \leq R_d$$

$$99.8 \text{ kN/m} < 106.4 \text{ kN/m}$$

OK!

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 1, Combinazione 2: A2 + M2 + R2

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m}$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.3 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{G1} = 1, \gamma_{G2} = 1.3,$$

$$E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 63.1 \times 1 + 26.3 \times 1.3 = 97.3 \text{ kN/m}$$

Resistenze: $W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m}$

$$W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$$

$$W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$$

$$W = 200.2 \text{ kN/m}$$

angolo di attrito muro-terreno $\phi_w = \phi'$; $\gamma_\phi = 1.25$;

$$T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 28^\circ / 1.25 = 85.1 \text{ kN/m}$$

Rp (trascuriamo)

$$\gamma_R = 1 \Rightarrow R_d = 85.1 / 1 = 85.1 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ $97.3 \text{ kN/m} > 85.1 \text{ kN/m}$ NON VERIFICA!

VERIFICHE
OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE
Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 2: **A1** + **M1** + **R3**

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.84 \text{ kN/m}$

$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m}$

$\gamma_{G1} = 1.3$, $\gamma_{G2} = 1.5$,

$E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 51.84 \times 1.3 + 21.6 \times 1.5 = 99.8 \text{ kN/m}$

Resistenze:

$W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.7 \text{ kN/m}$

$W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$

$W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$

$W = 200.2 \text{ kN/m}$

angolo di attrito muro-terreno $\phi_w = \phi'$; **$\gamma_\phi = 1$** ; $\phi_w = 28^\circ$

$T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 28^\circ = 106.4 \text{ kN/m}$

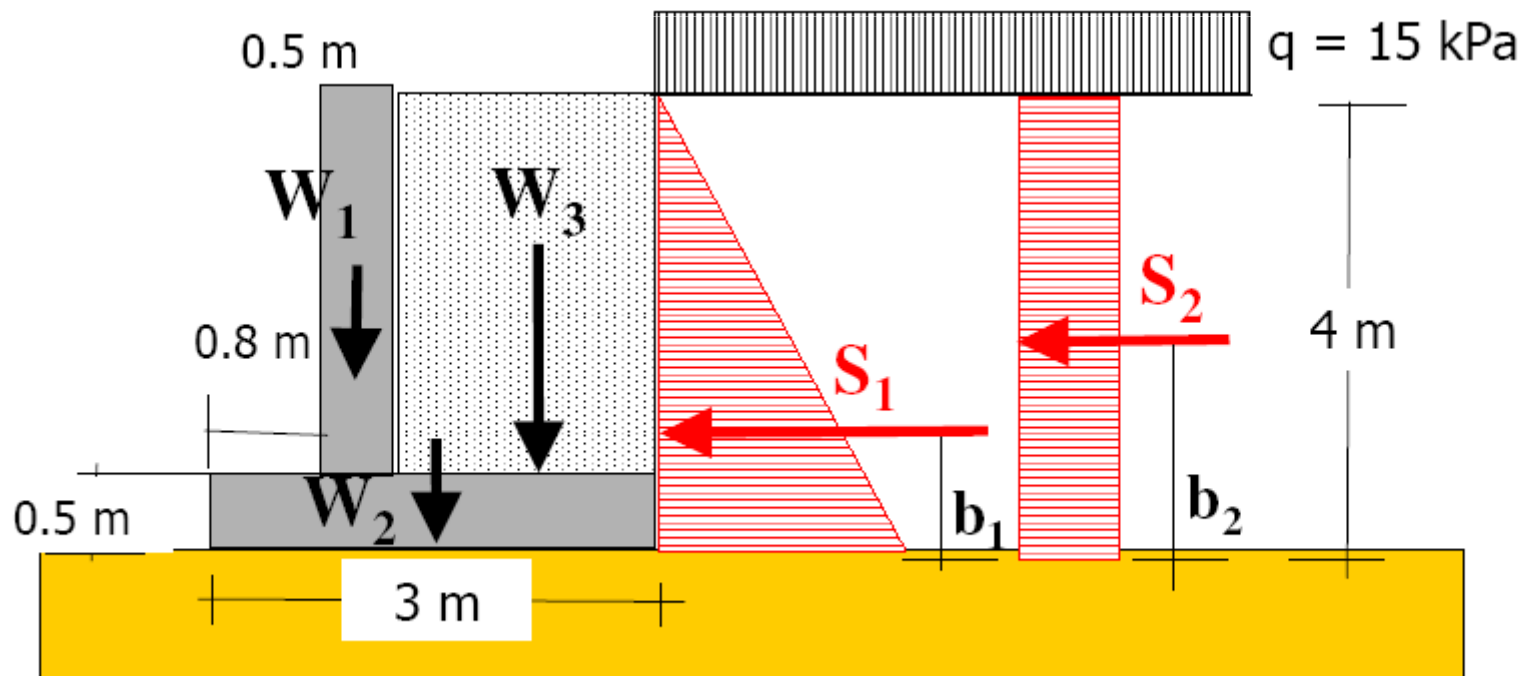
R_p (metà) = $0.5 (0.5 \times 18 \times 0.5^2 \times 2.77) = 3.1 \text{ kN/m}$, trascurabile

$\gamma_R = 1.1$ $\Rightarrow R_d = 106.4/1.1 = 96.7 \text{ kN/m}$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **99.8 kN/m > 96.7 kN/m** **NON VERIFICA!**

VERIFICHE SLU OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

Dati di progetto: sovraccarico verticale permanente $q = 15 \text{ kPa}$
Terreno a monte: Limo: $c_k' = 0; \phi_k' = 28^\circ, \gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$
Riempimento granulare: $\phi_k' = 35^\circ, \gamma_k = 20 \text{ kN/m}^3$
Terreno di fondazione: $c_k' = 0; \phi_k' = 34^\circ, \gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$



VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE

Esempio di calcolo

VERIFICA RIBALTAMENTO:

*La normativa specifica che la verifica a ribaltamento va trattata come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i relativi coefficienti parziali sulle azioni ed adoperando i coefficienti parziali del gruppo **M2** per il calcolo delle spinte:*

Azioni: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1$, $\gamma_\phi = 1.25 \Rightarrow$

$$\phi'_d: \arctan(\tan \phi' / \gamma_\gamma) = \arctan(\tan 28^\circ / 1.25) = 23^\circ$$

$$k_a = (1 - \sin 23^\circ) / (1 + \sin 23^\circ) = 0.438$$

$$S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m}$$

$$S_1 = 63.1 \text{ kN/m} \quad b_1 = 1.33 \text{ m} \quad \gamma_{G1} = 1.1$$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kN/m}^3 \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.2 \text{ kN/m}$$

$$S_2 = 26.2 \text{ kN/m} \quad b_2 = 2 \text{ m} \quad \gamma_{G2} = 1.5$$

$$E_d = S_1 b_1 \gamma_{G1} + S_2 b_2 \gamma_{G2} = 63.1 \times 1.33 \times 1.1 + 26.2 \times 2 \times 1.5 = 170.9 \text{ kN m/m}$$

$$W_1 = 43.7 \text{ kN/m} \quad a_1 = 1.05 \text{ m} \quad M_1 = 45.88 \text{ kN m/m}$$

$$W_2 = 37.5 \text{ kN/m} \quad a_2 = 1.5 \text{ m} \quad M_2 = 56.25 \text{ kN m/m}$$

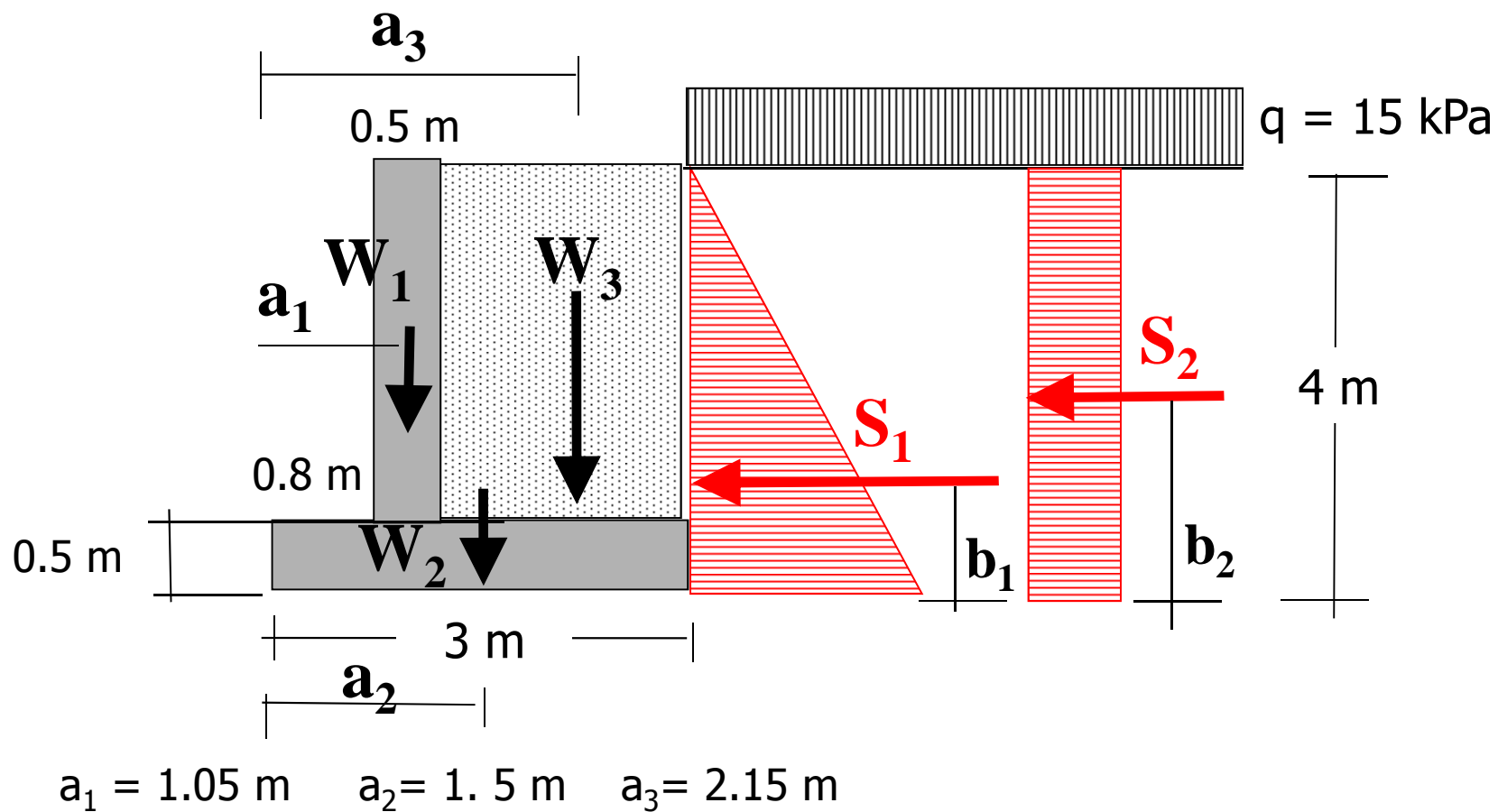
$$W_3 = 119 \text{ kN/m} \quad a_3 = 2.15 \text{ m} \quad M_3 = 255.85 \text{ kN m/m}$$

R_p non deve essere considerata

$$\gamma_{G1} = 0.9 \Rightarrow R_d = 0.9 \times (M_1 + M_2 + M_3) = 322.1 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **170.9 kN m/m < 322.1 kN/m** **OK!**

VERIFICHE SLU OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo



VERIFICHE
OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE
Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE: Approccio 1, Combinazione 1: A1+ M1+ R1

Calcolo eccentricità: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1, \gamma_\phi = 1 \Rightarrow k_a = (1 - \sin 28^\circ) / (1 + \sin 28^\circ) = 0.36$

$$\begin{aligned} S_1 &= 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.8 \text{ kN/m} & b_1 &= 1.33 \text{ m} \\ S_2 &= q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m} & b_2 &= 2 \text{ m} \\ S &= 51.8 + 21.6 = 73.4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$M = 51.8 \times 1.33 + 21.6 \times 2 = 112.1 \text{ KN m/m}$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m} & a_1 &= 1.05 \text{ m} \\ W_2 &= 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m} & a_2 &= 1.5 \text{ m} \\ W_3 &= 20 \text{ kN/m}^3 \times 1.7 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 119 \text{ kN/m} & a_3 &= 2.15 \text{ m} \\ W &= 43.75 + 37.5 + 119 = 200.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= (W_1 a_1 + W_2 a_2 + W_3 a_3 - M) / W = \\ a &= (43.75 \times 1.05 + 37.5 \times 1.5 + 119 \times 2.15 - 112.1) / 200.25 = 1.23 \text{ m} \end{aligned}$$

$$e = 1.5 - 1.23 = 0.27 \text{ m} \quad B' = B - 2e = 3 - 0.54 = 2.46 \text{ m}$$

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE:

Approccio 1, Combinazione 1: **A1** + **M1** + **R1**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1.3} = 260.3 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$\gamma_\gamma = \mathbf{1}, \gamma_\phi = \mathbf{1} \Rightarrow \phi'_d: \text{arc tan}(\tan \phi' / \gamma_\gamma) = \text{arc tan}(\tan 34^\circ / \mathbf{1}) = 34^\circ$$

$$q_{lim} = 0.5 \times B' \gamma N_\gamma \times (i_\gamma) (b_\gamma) (g_\gamma) + N_q \gamma D (i_q)$$

$$i_\gamma = (1 - S_{tot}/W)^3 = (1 - 73.4/200.25)^3 = 0.25$$

$$i_q = (1 - S_{tot}/W)^2 = (1 - 73.4/200.25)^2 = 0.40$$

$$q_{lim} = 0.5 \times 2.46 \times 18 \times 41 \times 0.25 + 29.4 \times 18 \times 0.5 \times 0.40 = 332.7 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1} \Rightarrow R_d = 332.7 \times 2.46 / \mathbf{1} = 818.4 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **260.3 kN/m < 818.4 kN/m** **OK!**

VERIFICHE
OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE
Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE: Approccio 1, Combinazione 2: A2+ M2+R2

Calcolo eccentricità: per le spinte: $\gamma_\gamma = 1$, $\gamma_\phi = 1.25 \Rightarrow k_a = (1 - \sin 23^\circ) / (1 + \sin 23^\circ) = 0.438$

$$S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m} \quad b_1 = 1.33 \text{ m}$$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.3 \text{ kN/m} \quad b_2 = 2 \text{ m}$$

$$S = 63.1 + 26.3 = 89.4 \text{ kN/m}$$

$$M = 63.1 \times 1.33 + 26.3 \times 2 = 136.5 \text{ KN m/m}$$

$$W_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m} \quad a_1 = 1.05 \text{ m}$$

$$W_2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m} \quad a_2 = 1.5 \text{ m}$$

$$W_3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 1.7 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} = 119 \text{ kN/m} \quad a_3 = 2.15 \text{ m}$$

$$W = 43.75 + 37.5 + 119 = 200.25 \text{ kN/m}$$

$$a = (W_1 a_1 + W_2 a_2 + W_3 a_3 - M) / W =$$

$$a = (43.75 \times 1.05 + 37.5 \times 1.5 + 119 \times 2.15 - 136.5) / 200.25 = 1.10 \text{ m}$$

$$e = 1.5 - 1.10 = 0.40 \text{ m} \quad B' = B - 2e = 3 - 2 \times 0.4 = 2.20 \text{ m}$$

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE:

Approccio 1, Combinazione 2: **A2+ M2+ R2**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1} = 200.25 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$\gamma_\gamma = \mathbf{1}, \gamma_\phi = \mathbf{1.25} \Rightarrow \phi'_d: \text{arc tan}(\tan \phi' / \gamma_\gamma) = \text{arc tan}(\tan 34^\circ / \mathbf{1.25}) = 28.4^\circ$$

$$q_{lim} = 0.5 \times B' \gamma N_\gamma \times (i_\gamma) (b_\gamma) (g_\gamma) + N_q \gamma D (i_q)$$

$$i_\gamma = (1 - S_{tot}/W)^3 = (1 - 89.4/200.25)^3 = 0.17$$

$$i_q = (1 - S_{tot}/W)^2 = (1 - 89.4/200.25)^2 = 0.31$$

$$q_{lim} = 0.5 \times 2.20 \times 18 \times 16.7 \times 0.17 + 14.7 \times 18 \times 0.5 \times 0.30 = 95.9 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1} \Rightarrow R_d = 95.9 \times 2.20 / \mathbf{1} = 211 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **200.25 kN/m < 211 kN/m** **OK!**

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA CAPACITÀ PORTANTE: Approccio 2: **A1** + **M1** + **R3**

Azione di progetto:

$$E_d = W \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \gamma_{G1} = 200.25 \times \mathbf{1.3} = 260.3 \text{ kN/m}$$

Resistenza di progetto:

$$\gamma_\gamma = \mathbf{1}, \gamma_\phi = \mathbf{1} \Rightarrow \phi'_d: \text{arc tan}(\tan \phi' / \gamma_\gamma) = \text{arc tan}(\tan 34^\circ / \mathbf{1}) = 34^\circ$$

$$q_{lim} = 0.5 \times B' \gamma N_\gamma \times (i_\gamma) (b_\gamma) (g_\gamma) + N_q \gamma D (i_q)$$

$$i_\gamma = (1 - S_{tot}/W)^3 = (1 - 73.4/200.25)^3 = 0.25$$

$$i_q = (1 - S_{tot}/W)^2 = (1 - 73.4/200.25)^2 = 0.40$$

$$q_{lim} = 0.5 \times 2.46 \times 18 \times 41 \times 0.25 + 29.4 \times 18 \times 0.5 \times 0.40 = 332.7 \text{ kPa}$$

$$\gamma_R = \mathbf{1.4} \Rightarrow R_d = 332.7 \times 2.46 / \mathbf{1.4} = 584.6 \text{ KN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **260.3 kN/m < 584.6 kN/m** **OK!**

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 1, Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.84 \text{ kN/m}$
 $S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m}$
 $\gamma_{G1} = 1.3, \gamma_{G2} = 1.5,$
 $E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 51.84 \times 1.3 + 21.6 \times 1.5 = 99.8 \text{ kN/m}$

Resistenze: $W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m}$
 $W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$
 $W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$
 $W = 200.2 \text{ kN/m}$
angolo di attrito muro-terreno $\phi_w = \phi'; \gamma_\phi = 1; \phi_w = 34^\circ$
 $T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 34^\circ = 135 \text{ kN/m}$
Rp (trascuriamo)
 $\gamma_R = 1 \Rightarrow R_d = 135/1 = 135 \text{ kN/m}$

Verifica: $E_d \leq R_d$ $99.8 \text{ kN/m} < 135 \text{ kN/m}$ OK !

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 1, Combinazione 2: A2 + M2 + R2

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.438 = 63.1 \text{ kN/m}$

$$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.438 = 26.3 \text{ kN/m}$$

$$\gamma_{G1} = 1, \gamma_{G2} = 1.3,$$

$$E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 63.1 \times 1 + 26.3 \times 1.3 = 97.3 \text{ kN/m}$$

Resistenze: $W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.75 \text{ kN/m}$

$$W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$$

$$W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$$

$$W = 200.2 \text{ kN/m}$$

angolo di attrito muro-terreno $\phi_w = \phi'$; $\gamma_\phi = 1.25$;

$$T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 34^\circ / 1.25 = 108 \text{ kN/m}$$

Rp (trascuriamo)

$$\gamma_R = 1 \Rightarrow R_d = 108/1 = 108 \text{ kN/m}$$

Verifica: $E_d \leq R_d$ $97.3 \text{ kN/m} < 108 \text{ kN/m}$ OK!

VERIFICHE OPERE DI SOSTEGNO RIGIDE Esempio di calcolo

VERIFICA SCORRIMENTO: Approccio 2: **A1** + **M1** + **R3**

Azioni: $S_1 = 0.5 \times \gamma \times H^2 \times k_a = 0.5 \times 18 \text{ kN/m}^3 \times 16 \text{ m}^2 \times 0.36 = 51.84 \text{ kN/m}$

$S_2 = q \times H \times k_a = 15 \text{ kPa} \times 4 \text{ m} \times 0.36 = 21.6 \text{ kN/m}$

$\gamma_{G1} = 1.3$, $\gamma_{G2} = 1.5$,

$E_d = S_1 \times \gamma_{G1} + S_2 \times \gamma_{G2} = 51.84 \times 1.3 + 21.6 \times 1.5 = 99.8 \text{ kN/m}$

Resistenze:

$W1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} = 43.7 \text{ kN/m}$

$W2 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0.5 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 37.5 \text{ kN/m}$

$W3 = 20 \text{ kN/m}^3 \times 3.5 \text{ m} \times 1.7 \text{ m} = 119 \text{ kN/m}$

$W = 200.2 \text{ kN/m}$

angolo di attrito muro-terreno $\phi_w = \phi'$; $\gamma_\phi = 1$; $\phi_w = 34^\circ$

$T = W \tan \phi_w = 200.2 \tan 34^\circ = 135 \text{ kN/m}$

R_p (metà) = $0.5 (0.5 \times 18 \times 0.5^2 \times 2.77) = 3.1 \text{ kN/m}$, trascurabile

$\gamma_R = 1.1 \Rightarrow R_d = 135/1.1 = 122.7 \text{ kN/m}$

Verifica: $E_d \leq R_d$ **99.8 kN/m < 122.7 kN/m OK!**