

Corso di aggiornamento
 Progettazione strutturale sulla base delle
 Norme Tecniche per le Costruzioni 2008

Opere di sostegno

Maria Rossella Massimino

Spoletto, 21 - 23 gennaio 2010

Articolazione del modulo

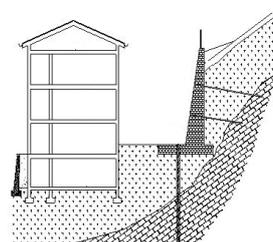
- A. Considerazioni introduttive
- B. Caratterizzazione geotecnica dei terreni interagenti con l'opera da progettare
- C. Aspetti geotecnici nella determinazione dell'azione sismica (cenni)
- D. Fenomeni geotecnici connessi ad un evento sismico
- E. Progettazione geotecnica di fondazioni ed opere di sostegno: indicazioni generali
- F. Fondazioni
- G. Opere di sostegno

(G) Opere di sostegno

- **muri**, per i quali la funzione di sostegno è affidata al peso proprio del muro e a quello del terreno direttamente agente su di esso (ad esempio: muri a gravità, muri a mensola, muri a contrafforti);
- **paratie**, per le quali la funzione di sostegno è assicurata principalmente dalla resistenza del volume di terreno posto innanzi l'opera e da eventuali ancoraggi e puntoni;
- **strutture miste**, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento (ad esempio: terra rinforzata, muri cellulari).

Opere di sostegno: criteri generali di progetto (6.5.1)

- La **scelta del tipo di opera di sostegno** deve essere effettuata in base alle dimensioni e alle esigenze di funzionamento dell'opera, alle caratteristiche meccaniche dei terreni in sede e di riporto, al regime delle pressioni interstiziali, all'interazione con i manufatti circostanti, alle condizioni generali di stabilità del sito.

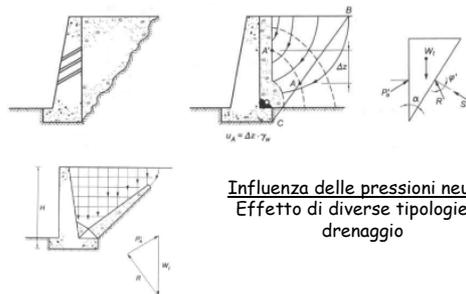


Opere di sostegno: criteri generali di progetto (6.5.1)

- Deve inoltre tener conto dell'incidenza sulla sicurezza di dispositivi complementari (quali **rinforzi, drenaggi, tiranti e ancoraggi**) e delle fasi costruttive.
- Devono essere valutati gli effetti derivanti da parziale perdita di efficacia di dispositivi particolari, quali: sistemi di drenaggio superficiali e profondi, tiranti ed ancoraggi. Per tutti questi interventi deve essere predisposto un dettagliato piano di controllo e monitoraggio.
- In presenza di **costruzioni preesistenti**, il comportamento dell'opera di sostegno deve garantirne i previsti livelli di funzionalità e stabilità.
- In particolare, devono essere valutati gli **spostamenti del terreno** a tergo dell'opera e verificata la loro compatibilità con le condizioni di sicurezza e funzionalità delle costruzioni preesistenti.

Opere di sostegno: criteri generali di progetto (6.5.1)

- Inoltre, nel caso in cui in fase costruttiva o a seguito dell'adozione di sistemi di drenaggio si determini una **modifica delle pressioni interstiziali nel sottosuolo** se ne devono valutare gli effetti, anche in termini di stabilità e funzionalità delle costruzioni preesistenti.



Influenza delle pressioni neutre
 Effetto di diverse tipologie di drenaggio

Opere di sostegno: criteri generali di progetto (6.5.1)

- Le indagini geotecniche devono avere estensione tale da consentire la verifica delle **condizioni di stabilità locale e globale** del complesso opera-terreno, tenuto conto anche di eventuali moti di filtrazione.

Opere di sostegno: verifiche di sicurezza (6.5.3.1)

- Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.
- Gli SLU delle opere di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della **resistenza del terreno**, e al raggiungimento della **resistenza degli elementi strutturali** che compongono le opere stesse.

Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

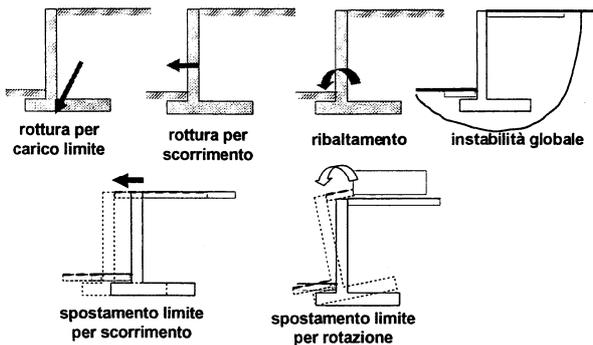
- Le verifiche devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite:
 - SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)
 - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
 - scorrimento sul piano di posa;
 - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
 - ribaltamento;
 - SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Esempio



Verifiche allo scorrimento e al ribaltamento di un muro di sostegno

Muri di sostegno: Stati limite



Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

- La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:
 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle **Tabella 6.2.I** e **6.2.II** per le azioni e i parametri geotecnici e nella **Tabella 6.8.I** per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

- La verifica di stabilità globale

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_f (o γ_{f_e})	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{f1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{f2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{f0}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

- La verifica di stabilità globale

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	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1,1

Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

- Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I, secondo almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

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

Approccio 2:

(A1+M1+R3)

- Nelle verifiche effettuate con l'approccio 2 che siano finalizzate al dimensionamento strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.
- Nel caso di muri di sostegno dotati di ancoraggi al terreno, le verifiche devono essere effettuate con riferimento al solo approccio 1.

Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

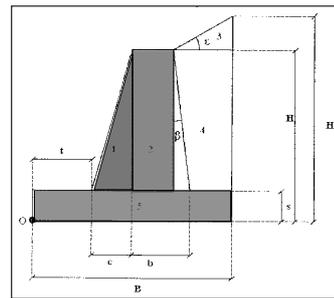
VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

Muri di sostegno - azioni (6.5.2 e 6.5.3.1.1)

- Si considerano azioni sull'opera di sostegno quelle dovute al peso proprio del terreno e del materiale di riempimento, ai sovraccarichi, all'acqua, ad eventuali ancoraggi presolleccati, al moto ondoso, ad urti e collisioni, alle variazioni di temperatura e al ghiaccio (6.5.2).
- Le ipotesi di calcolo delle spinte devono essere giustificate sulla base dei prevedibili spostamenti relativi manufatto-terreno, ovvero determinate con un'analisi dell'interazione terreno-struttura (6.5.3.1.1).
- Le **spinte** devono tenere conto del **sovraccarico** e dell'**inclinazione del piano campagna**, dell'**inclinazione del paramento** rispetto alla verticale, delle **pressioni interstiziali** e degli effetti della **filtrazione** nel terreno. Nel calcolo della spinta si può tenere conto dell'**attrito** che si sviluppa fra parete e terreno (6.5.3.1.1).

Esempio: Dimensionamento e verifica di un muro di sostegno in zona sismica

Sezione del muro di sostegno



DATI

$H = 4,50 \text{ m}$
 $H_{\text{tot}} = 4,76 \text{ m}$
 $s = 1,00 \text{ m}$
 $t = 1,50 \text{ m}$
 $c = 0,80 \text{ m}$
 $b = 0,80 \text{ m}$
 $B = 4,60 \text{ m}$
 $\alpha = 10^\circ$
 $\beta = 0^\circ$
 $\gamma = 19,20 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_m = 25 \text{ kN/m}^3$
 $C_u(z) = 25 + 1,5 z \text{ kN/m}^2$
 $E_s = 150 C_u$
 $\phi = 33,3^\circ$

Valori di progetto del muro di sostegno in esame

Caratteristiche dei materiali (rif. Tab. 6.2.II)				
Parametri	A1-C1	A1-C2	A2	Unità di misura
γ	19,20	19,20	19,20	kN/m ³
γ_m	25	25	25	kN/m ³
E_s	150 C_u	150 C_u	150 C_u	kN/m ²
$C_u(z)$	$25 + 1,5 z$	$(25 + 1,5 z) / 1,4$	$25 + 1,5 z$	kN/m ²
ϕ	33,3	27,7	33,3	°

Muri di sostegno - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.2)

- A meno di **analisi dinamiche avanzate**, l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante i **metodi pseudostatici** e i **metodi degli spostamenti**.
- L'**analisi pseudostatica** si effettua mediante i metodi dell'equilibrio limite. Il modello di calcolo deve comprendere l'opera di sostegno, il cono di terreno a tergo dell'opera, che si suppone in stato di equilibrio limite attivo (se la struttura può spostarsi), e gli eventuali sovraccarichi agenti sul cono suddetto.

Muri di sostegno - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.2)

- Nell'analisi pseudostatica, l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.
- Nelle verifiche allo stato limite ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v , possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m (a_{max}/g) \quad \left\{ \begin{array}{l} a_{max}: \text{acc. orizz. massima attesa al sito} \\ g: \text{accelerazione di gravità} \end{array} \right.$$

$$k_v = k_h/2$$



Muri di sostegno - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.2)

- In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S a_g = S_S S_T a_g$$

S : coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al § 3.2.3.2;
 a_g : accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

- Nella precedente espressione, il coefficiente β_m assume i valori riportati nella Tab. 7.11-II.

Tabella 7.11-II - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_m	β_m
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

Muri di sostegno - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.2)

- Per muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.
- Nel caso di muri di sostegno liberi di traslare o di ruotare intorno al piede, si può assumere che l'incremento di spinta dovuta al sisma agisca nello stesso punto di quella statica.
- Negli altri casi, in assenza di specifici studi si deve assumere che tale incremento sia applicato a metà altezza del muro.

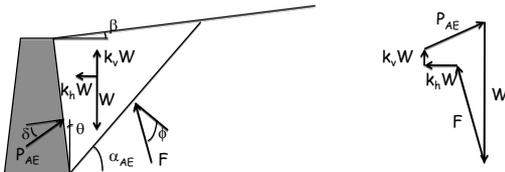
Muri di sostegno - verifiche di sicurezza (7.11.6.2.2)

- Le **azioni** da considerare nelle analisi di sicurezza delle fondazioni sono fornite dalla **spinta esercitata dal terrapieno**, dalle **azioni gravitazionali permanenti** e dalle **azioni inerziali** agenti nel muro, nel terreno e negli eventuali sovraccarichi.
- In aggiunta all'analisi della sicurezza nei confronti dello **stato limite ultimo**, devono essere condotte verifiche nei confronti dello stato limite di danno. In particolare, gli spostamenti permanenti indotti dal sisma devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera e con quella di eventuali strutture o infrastrutture interagenti con essa.

Calcolo dell'azione sismica

METODO DI MONONOBE-OKABE

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



La spinta sismica è inclinata di una quantità pari a $\delta = 2/3 \phi$, pertanto per poter effettuare le verifiche di stabilità occorre determinare le componenti orizzontale e verticale:

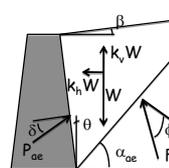
$$P_{AE,h} = P_{AE} \cos \delta \quad P_{AE,v} = P_{AE} \sin \delta$$

Calcolo dell'azione sismica

METODO DI MONONOBE-OKABE

Per poter calcolare il valore della spinta sismica occorre ricavare il coefficiente di spinta attiva in caso sismico:

$$k_{AE} = \frac{\cos^2(\varphi - \psi)}{\cos \psi \cdot \cos^2 \theta \cdot \cos(\delta + \theta + \psi) \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)} \right]^2}$$



$$\psi = \arctan \frac{k_h}{\pm k_v}$$

Ipotesi di base sulla zona in esame

- Terreno asciutto;
- Zona caratterizzata da $a_g = 0,25g$;
- Categoria di sottosuolo D (Tab. 3.2.II): $\rightarrow \beta_m = 0,31$;
- Superficie topografica di categoria $T1$ (Tab. 3.2.IV e Tab. 3.2.VI): $\rightarrow S_s = 1,20$ e $S_T = 1,00$.

Tabella 3.2.IV - *Categorie topografiche*

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 $i > 30^\circ$

Tabella 3.2.VI - *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Calcolo dell'azione sismica

METODO DI MONONOBE-OKABE

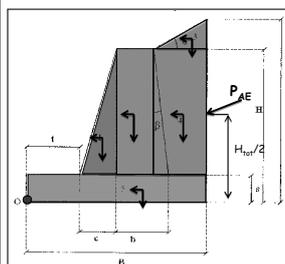
- Coefficiente di spinta sismica orizzontale: $k_h = \beta_m a_g S_s S_T = 0,090$
- Coefficiente di spinta sismica verticale: $k_v = k_h/2 = 0,045$
- Nell'Hp di spinta verticale verso il basso: $\psi (+) = \arctg(k_h/1+k_v) = 4,92$
- Nell'Hp di spinta verticale verso l'alto: $\psi (-) = \arctg(k_h/1-k_v) = 5,38$

Valori della spinta sismica secondo le combinazioni proposte dalla Normativa

	$k_{AE}(\psi+)$	$k_{AE}(\psi-)$	$P_{AE}(\psi+)$ [kN/m ²]	$P_{AE}(\psi-)$ [kN/m ²]	$P_{AE,h} (+)$ [kN/m ²]	$P_{AE,v} (+)$ [kN/m ²]	$P_{AE,h} (-)$ [kN/m ²]	$P_{AE,v} (-)$ [kN/m ²]
A1-C1	0,3659	0,3735	83,18	77,60	77,01	31,43	71,84	29,32
A1-C2	0,4609	0,4704	104,75	97,71	99,36	33,18	92,68	30,95
A2	0,3659	0,3735	83,18	77,60	77,01	31,43	71,84	29,32

Calcolo dei pesi e delle azioni inerziali

Per comodità si suddivide il muro in conci, per ognuno dei quali si calcolano i pesi propri W_i e le rispettive forze d'inerzia $F_i = W \cdot k_h$. Si determinano inoltre i bracci di ogni forza, indicati con X e Y , rispetto al punto O di riferimento.



	V [m ³]	γ [kN/m ³]	W [kN]	F [kN]	X [m]	Y [m]
1	1,4	25	35	3,15	2,0	2,2
2	2,8	25	70	6,3	2,7	2,7
3	0,2	19,2	3,81	0,34	4,1	4,6
4	5,2	19,2	100,8	9,07	3,8	2,7
5	4,6	25	115,0	10,3	2,3	0,5

Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

- Ai fini della verifica alla traslazione sul piano di posa di muri di sostegno con fondazioni superficiali, non si deve in generale considerare il contributo della resistenza passiva del terreno antistante il muro.
- In casi particolari, da giustificare con considerazioni relative alle caratteristiche meccaniche dei terreni e alle modalità costruttive, la presa in conto di un'aliquota (comunque non superiore al 50%) di tale resistenza è subordinata all'assunzione di effettiva permanenza di tale contributo, nonché alla verifica che gli spostamenti necessari alla mobilitazione di tale aliquota siano compatibili con le prestazioni attese dell'opera.

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

Resistenza allo scorrimento \rightarrow

contributo stabilizzante delle forze verticali (c . attrittivo) + contributo legato alla coesione del terreno sotto il muro (c . coesivo)

$$H_{lim} = f_a \Sigma F_v + C_u \alpha B$$

C.D. $\phi \neq 0$

C.N.D. $\phi_u = 0$; $\alpha = 0,9$ (suggerim. AGI)

- Azioni stabilizzanti: pesi, azioni verticali inerziali (ottenute moltiplicando i pesi per k_v), componente verticale della spinta sismica considerata verso il basso (combinazione più gravosa)

Fattore d'attrito terreno-terreno (alla base del muro): $f_a = \text{tg}(2/3 \phi)$

- Azioni instabilizzanti: forze inerziali e componente orizzontale della spinta sismica considerata verso il basso (combinazione più gravosa)

VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

	A1-C1	A1-C2	A2	Unità di misura	
resistenze	ΣF_v	370,64	372,40	370,64	[kN]
	f_a	23,40	19,15	23,40	[°]
	H_{lim}	260,98	202,73	260,98	[kN]
azioni instabilizzanti	H_{lim}/γ_r	260,98	202,73	237,26	[kN]
	ΣF_h	106,22	128,57	106,22	[kN]
	$\Sigma F_h \cdot \gamma_f$	138,09	128,57	138,09	[kN]

La verifica è soddisfatta per ciascuna coppia approccio-combinazione utilizzata, in quanto si ha:

$$\Sigma F_h \cdot \gamma_f < H_{lim} / \gamma_r$$

N.B. La coppia approccio-combinazione più critica è **A1-C2**.

Muri di sostegno - verifiche agli SLU (6.5.3.1.1)

- Lo stato limite di ribaltamento non prevede la mobilitazione della resistenza del terreno di fondazione e deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU), utilizzando i coefficienti parziali sulle azioni della tabella 2.6.I e adoperando coefficienti parziali del gruppo (M2) per il calcolo delle spinte.



- Si considerano le componenti orizzontale e verticale della spinta ottenute secondo l'approccio-combinazione A1-C2.
- La Normativa non dà indicazione sui coefficienti riduttivi delle forze resistenti, pertanto ci si può rifare ai coefficienti del gruppo (R) proposti per la verifica allo scorrimento.

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

- Momenti stabilizzanti:** prodotti dei contributi dei diversi pesi e della componente verticale della spinta sismica per i rispettivi bracci (X)

Momenti stabilizzanti			
Concilio	Peso W_i [kN]	Braccio X_i [m]	$W_i * (1+k_{v1}) * X_i$ [kNm]
1	35,00	2,03	67,96
2	70,00	2,70	180,50
3	3,81	4,10	14,91
4	100,80	3,85	370,62
5	115,00	2,30	252,60
$P_{AE, v}$	33,18	3,10	102,87
ΣM_{stab}			989,46

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

- Momenti instabilizzanti:** prodotti dei contributi delle forze d'inerzia e della componente orizzontale della spinta sismica per i rispettivi bracci (Y)

Momenti instabilizzanti			
Concilio	Forze d'inerzia F_i [kN]	Braccio Y_i [m]	$W_i * k_{v1} * Y_i$ [kNm]
1	3,15	2,17	6,83
2	6,30	2,75	17,33
3	0,34	4,59	1,57
4	9,07	2,75	24,95
5	10,35	0,50	5,18
$P_{AE, h}$	99,36	2,38	236,48
ΣM_{instab}			292,32

VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Valori di progetto

	EQU-M2-R1	EQU-M2-R2	EQU-M2-R3	Unità di misura
$\Sigma M_{stab} / \gamma_r$	989,46	989,46	899,51	[kNm]
$\Sigma M_{instab} * \gamma_f$	321,55	321,55	321,55	[kNm]

La verifica è soddisfatta in ogni caso, in quanto si ha:

$$\frac{\Sigma M_{instab} * \gamma_f}{\gamma_r} < \Sigma M_{stab} /$$

N.B. La coppia approccio-combinazione più critica è EQU-M2-R3.

VERIFICA DEL CARICO LIMITE DEL COMPLESSO TERRENO-FONDAZIONE

La verifica si esegue analogamente a quanto mostrato nel caso di verifica di capacità portante di una fondazione superficiale, pertanto in questa fase si tralasciano i passaggi e si riportano esclusivamente i dati conclusivi.

	A1-C1	A1-C2	A2	Unità di misura
q_{lim} / γ_r	989,46	989,46	899,51	[kNm]
$q_{es} * \gamma_f$	321,55	321,55	321,55	[kNm]

La verifica non è soddisfatta in ogni caso, in quanto si ha:

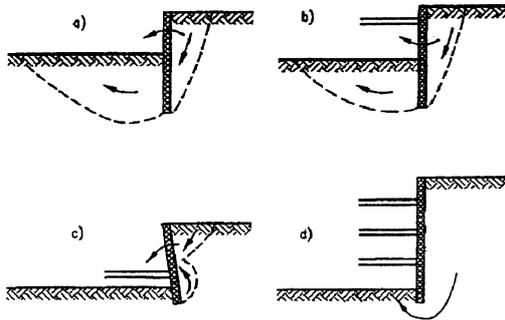
$$q_{es} * \gamma_f > q_{lim} / \gamma_r$$

N.B. La coppia approccio-combinazione più critica è A2.

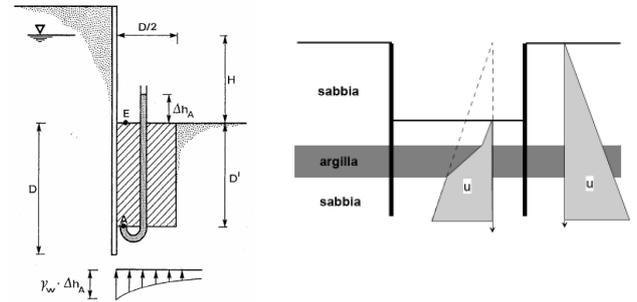
Paratie - verifiche agli SLU (6.5.3.1.2)

- Le verifiche devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite ultimi:
 - SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD)
 - collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - collasso per carico limite verticale;
 - sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
 - instabilità del fondo scavo per sollevamento;
 - sifonamento del fondo scavo;
 - instabilità globale dell'insieme terreno-opera;
 - SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
 - raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o di sistemi di contrasto;
 - raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

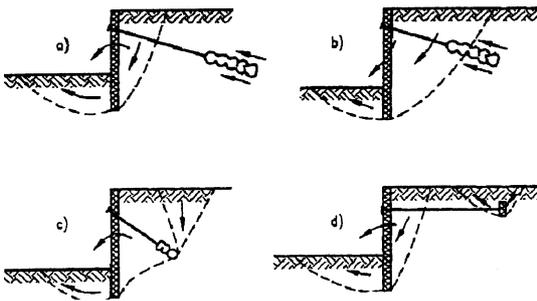
Paratie: Stati limite di tipo geotecnico



Paratie: Stati limite di tipo idraulico



Paratie: Stati limite di tipo strutturale



Paratie - verifiche agli SLU (6.5.3.1.2)

- La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:
 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)
- tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I.

Paratie - verifiche agli SLU (6.5.3.1.2)

- Le rimanenti verifiche devono essere effettuate, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I, considerando le seguenti combinazioni di coefficienti:
 - Combinazione 1: (A1+M1+R1)
 - Combinazione 2: (A2+M2+R1)
- Per le paratie, i calcoli di progetto devono comprendere la verifica degli eventuali ancoraggi, puntoni o strutture di controventamento.

Paratie - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.3)

- Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente costante nello spazio e nel tempo.
- Le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.
- In mancanza di studi specifici, a_h può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$
 - ≤ 1 : coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera;
 - $\beta \leq 1$: coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Paratie - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.3)

- ❑ Per le paratie si può porre $a_v = 0$.
- ❑ L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, ovvero come:
$$a_{max} = S a_g = S_S S_T a_g$$
- ❑ Il valore del coefficiente α può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma di Figura 7.11.2.
- ❑ Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\lambda = 1$.
- ❑ Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma di Figura 7.11.3, in funzione del massimo spostamento u che l'opera può tollerare senza riduzioni di resistenza.

Paratie - Progettazione per azioni sismiche (7.11.6.3)

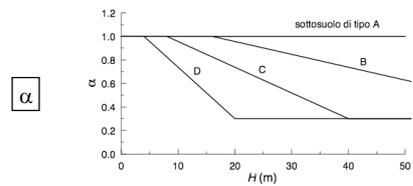


Figura 7.11.2 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

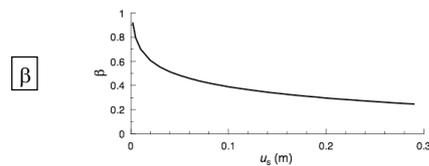


Figura 7.11.3 - Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β .

Opere di sostegno: verifiche di esercizio (6.5.3.2)

- ❑ In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità e di manufatti adiacenti, anche a seguito di modifiche indotte sul regime delle acque sotterranee.
- ❑ In presenza di manufatti particolarmente sensibili agli spostamenti dell'opera di sostegno, deve essere sviluppata una **specificata analisi dell'interazione tra opere e terreno**, tenendo conto della sequenza delle fasi costruttive.

