

ITINERARIO RAGUSA-CATANIA

Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 "di Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della S.S. 194 "Ragusana"

LOTTO 4 - Dallo svincolo n. 8 "Francofonte" (compreso) allo svincolo della "Ragusana"(escluso)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PA898**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GP INGEGNERIA - COOPROGETTI -GDG - ICARIA - OMNISERVICE

PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri

Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351



IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini

Ordine dei Geologi della Regione Umbria n° 108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco

Ordine degli Ingegneri della Provincia di Perugia n° A1373

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Luigi Mupo

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



Dott. Ing. N.Granieri
Dott. Ing. F.Durastanti
Dott. Ing. V.Truffini
Dott. Arch. A.Bracchini
Dott. Ing. L.Nani

Dott. Ing. M.Abram
Dott. Ing. F.Pambianco
Dott. Ing. M.Briganti Botta
Dott. Ing. L.Gagliardini
Dott. Geol. G.Cerquiglini

MANDANTI:



Dott. Ing. G.Guiducci
Dott. Ing. A.Signorelli
Dott. Ing. E.Moscatelli
Dott. Ing. A.Bela

Dott. Ing. G.Lucibello
Dott. Arch. G.Guastella
Dott. Geol. M.Leonardi
Dott. Ing. G.Parente



Dott. Arch. E.A.E.Crimi
Dott. Ing. M.Panfilì
Dott. Arch. P.Ghirelli
Dott. Ing. D.Pelle

Dott. Ing. L.Ragnacci
Dott. Arch. A.Strati
Archeol. M.G.Liseno



Dott. Ing. D.Carlaccini
Dott. Ing. S.Sacconi
Dott. Ing. C.Consorti

Dott. Ing. F.Aloe
Dott. Ing. A.Salvemini



Dott. Ing. V.Rotisciani
Dott. Ing. G.Pulli
Dott. Ing. F.Macchioni

Dott. Ing. G.Verini Supplizi
Dott. Ing. V.Piunno
Geom. C.Sugaroni



Dott. Ing. P.Agnello



IL RESPONSABILE DI PROGETTO:

**INGEGNERE
Vladimiro
ROTISCIANI**

civile ed ambientale
settore industriale
dell'informazione
A 376
Provincia di TERNI

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione di calcolo gabbionate

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T04ID00IDRRE05				
L0408Z	E	2101	CODICE ELAB. T04ID00IDRRE05			A	-
A	Emissione		Nov. 2021	F.Macchioni	V. Rotisciani	N.Granieri	
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CRITERI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE	5
4	ATTRAVERSAMENTI TM05	8
4.1	GEOMETRIA.....	8
4.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	8
4.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	8
4.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	10
4.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	19
5	ATTRAVERSAMENTO TM08	22
5.1	GEOMETRIA.....	22
5.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	22
5.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	22
5.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	25
5.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	33
6	ATTRAVERSAMENTI TM12-TM13-TM16-TM22	36
6.1	GEOMETRIA.....	36
6.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	36
6.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	36
6.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	39
6.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	47
7	ATTRAVERSAMENTO TM23	50
7.1	GEOMETRIA.....	50
7.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	50

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

7.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	50
7.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	53
7.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	61
8	ATTRAVERSAMENTO TM24.....	64
8.1	GEOMETRIA.....	64
8.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	64
8.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	64
8.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	67
8.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	75
9	ATTRAVERSAMENTO TM31.....	78
9.1	GEOMETRIA.....	78
9.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	78
9.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	78
9.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	81
9.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	89
10	ATTRAVERSAMENTO TM32.....	92
10.1	GEOMETRIA.....	92
10.2	INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO.....	92
10.3	CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE.....	92
10.4	VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR).....	95
10.5	VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE.....	103

1 PREMESSA

Nella presente relazione vengono presentati i calcoli di verifica strutturale delle opere di sistemazione con gabbionate metalliche da realizzarsi in corrispondenza degli attraversamenti idraulici relativi al LOTTO 4 del "Collegamento viario compreso tra lo Svincolo della S.S. 514 di "Chiaramonte" con la S.S. 115 e lo Svincolo della "Ragusana".

Tali interventi riguardano gli attraversamenti di seguito elencati:

- TM05
- TM08
- TM12
- TM13
- TM16
- TM20
- TM22
- TM23
- TM24
- TM31
- TM32

Nei paragrafi successivi sono riportate le verifiche strutturali e geotecniche dei muri in gabbioni e le relative verifiche di stabilità globale.

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Le normative rilevanti per la redazione del progetto sono le normative elencate nel seguito:

- D.M del 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- Circ. 02/02/2009 n. 617 C.S.LL.PP. Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Istruzioni per l'applicazione delle « Norme Tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

3 CRITERI DI CALCOLO PER LE VERIFICHE

Le verifiche di carattere geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU) vengono effettuate secondo le prescrizioni dalla normativa relative alle ai muri di sostegno (§ 6.5.3.1.1 NTC 2008). Secondo tali indicazioni e con riferimento alle colonne delle tabelle successivamente riportate, si impiegano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza:

- Per la verifica allo stato limite di ribaltamento (EQU)
"EQU+M2+R1"

- Per le verifiche a scorrimento sul piano di posa ed a collasso per carico limite dell'insieme fondazione terreno è possibile impiegare uno dei seguenti Approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: "A1+M1+R1"

Combinazione 2: "A2+M2+R2"

Approccio 2: "A1+M1+R3"

Per completezza si eseguono le verifiche con entrambi gli Approcci.

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	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.

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

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

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	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

- Per la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno si impiega il seguente approccio:

Approccio 1:

Combinazione 2: "A2+M2+R2"

Impiegando nelle verifiche di sicurezza il coefficiente di sicurezza di opere in materiali sciolti e fronti di scavo secondo la tabella 6.8.I.

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

- La verifica allo stato limite ultimo, corrispondente al collasso per carico limite della fondazione, consiste nel controllare che le azioni di progetto, che l'opera trasmette al terreno di fondazione, siano inferiori alla resistenza di progetto del sistema terreno-fondazione.

La valutazione della capacità portante del complesso terreno - fondazione viene effettuata, secondo le indicazioni fornite da EC7.

L'espressione adottata per il calcolo del carico limite unitario è:

$$Q_{lim}/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0.5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Con i fattori adimensionali:

— Fattori di capacità portante:

$$N_q = e^{\delta \tan \varphi'} \tan^2 (45^\circ + \varphi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_g = 2 (N_q - 1) \tan \varphi', \text{ dove } \delta \geq \varphi'/2 \text{ (}\delta \text{ attrito fondazione - terreno)}$$

— Inclinazione del piano di posa della fondazione:

$$b_c = b_q - (1 - b_q)/N_c \times \tan \varphi'$$

$$b_q = b_{\delta} = (1 - \alpha \times \tan \varphi')^2$$

— Forma della fondazione:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi', \text{ per impronta rettangolare;}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ per impronta quadrata o circolare;}$$

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

$s_g = 1 \times 0.3 (B'/L')$, per impronta rettangolare;

$s_g = 0.7$, per impronta quadrata o circolare;

$s_c = (s_q \times N_q - 1)/(N_q - 1)$ per impronta rettangolare, quadrata o circolare;

— Inclinazione del carico:

$i_c = i_q - (1 - i_q)/N_c \times \tan \varphi'$;

$i_q = [1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^m$;

$i_{\bar{q}} = [1 - H/(V + A'c' \cot \varphi')]^{m+1}$.

dove:

$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')]$ con H agente in direzione di B' ;

$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')]$ con H agente in direzione di L' .

Nel caso in cui la componente orizzontale del carico H agisca in una direzione formante un angolo θ con la direzione di L' , m può essere calcolato come:

$$m = m_{\bar{q}} = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta.$$

I simboli hanno il seguente significato

Q_{lim} Valore del carico limite del complesso fondazione - terreno

$A' = B' \times L'$ Area efficace di progetto della fondazione

B Larghezza della fondazione

B' Larghezza efficace della fondazione

L Lunghezza della fondazione

L' Lunghezza efficace della fondazione

c' Valore della coesione efficace del terreno al di sotto del piano di posa della fondazione

φ' Valore dell'angolo d'attrito efficace del terreno al di sotto del piano di posa

q Pressione litostatica sul piano di posa della fondazione

α Inclinazione del piano di posa della fondazione rispetto all'orizzontale

V Carico verticale

H Carico orizzontale

4 ATTRAVERSAMENTI TM05

4.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM05, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 1 ordine, per un'altezza di 1.00 m, e larghezza alla base di 1.00 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

4.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[KPa]	[MPa]
Sabbia/calcareniti	Qc(a)	17.5-18.5	0	38-42	-	80-100
Materiale lapideo	Pvl	16-17	0	44	-	>150

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "B"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la falda idrica, il livello piezometrico non è stato intercettato nella zona in oggetto. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geotecnico".

4.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

latitudine: 37.233179 [°]

longitudine: 14.899100 [°]

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: B
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.076	2.495	0.275
SLD	63	101	0.1088	2.330	0.310
SLV	10	949	0.3831	2.332	0.471
SLC	5	1950	0.5405	2.338	0.529

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "B"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_s e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_s orizzontale SLO = 1.2

S_s orizzontale SLD = 1.2

S_s orizzontale SLV = 1.07

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici piane, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.07$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.127$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.063$, coefficiente sismico verticale.

4.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.00 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 1.00 m.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

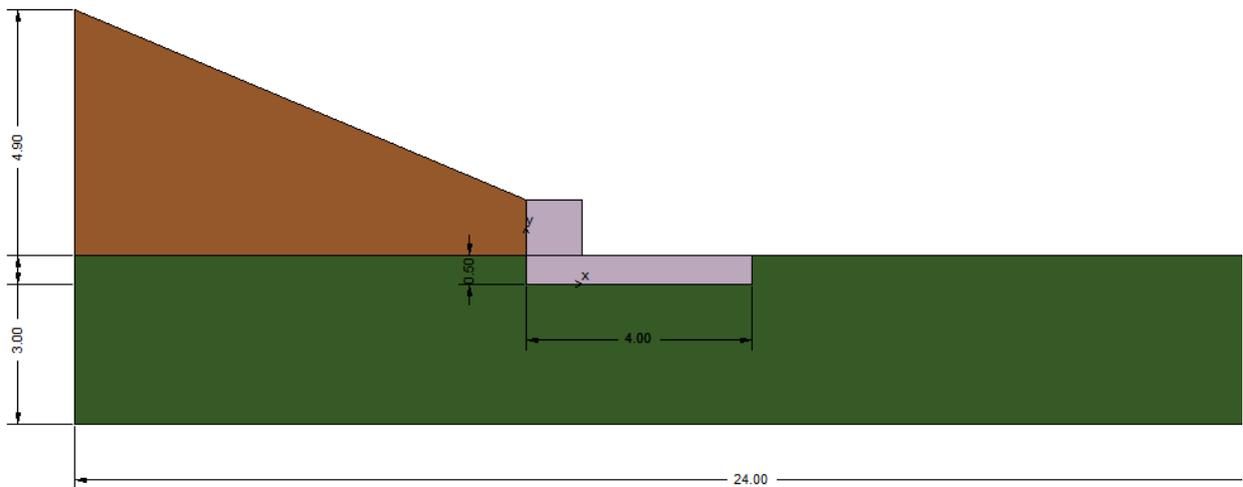
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

Geometria

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

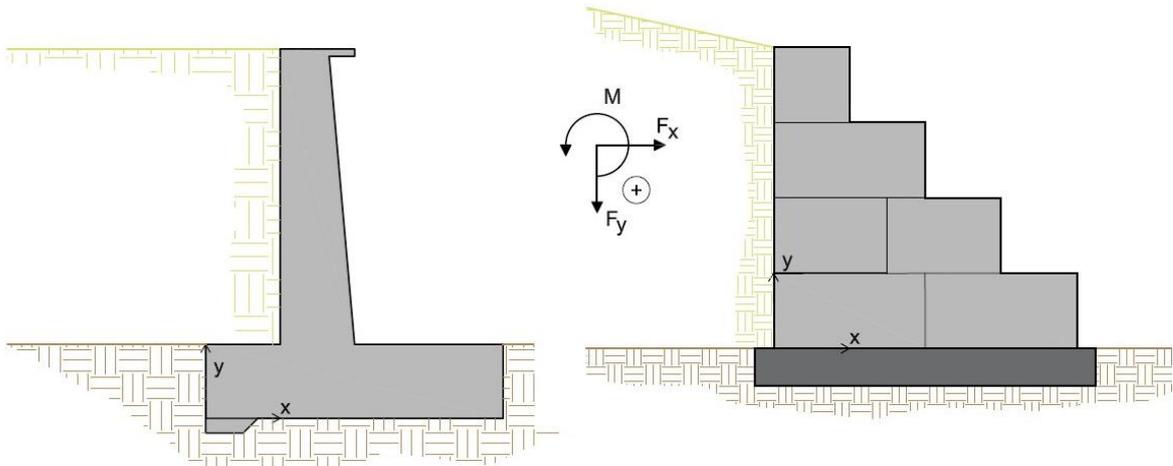


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_a :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ Angolo di attrito terra-muro;

ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;

H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_U coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c fattore di forma

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right)$ per fondazioni rettangolari, il valore di s_c viene assunto pari ad 1 per fondazioni

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \varphi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \varphi'} \right)^m$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot(\varphi')} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan(\varphi')}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	B[m]	TIPI			Peso[KN/m³]
		H[m]	L[m]		
Gabbione_1	1,00	1,00	10,00		20,00
Gabbione_2	1,00	1,00	10,00		20,00
Gabbione_3	4,00	0,50	10,00		20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_2	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	27,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m³]	Peso saturo [KN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m²]
Qc	17,50	18,50	40,00	0,00	30,00	5,00
Qc	17,50	18,50	40,00	0,00	30,00	5,00

PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,13 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,06 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,291 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,493 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,202 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	4,96	2,86	0,00	0,00	0,52
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

monte					
Spinta Sismica monte X	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,421 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,988 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,566 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	7,18	4,14	0,00	0,00	0,52
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,421 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,988 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,566 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	54,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	7,18	4,14	0,00	0,00	0,52
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	5,37	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,421 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,988 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,566 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
------	--------------	--------------	--------------	----------	----------

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	7,18	4,14	0,00	0,00	0,52
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	5,37	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	3,10	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-0,94	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	161,45	2,58	56,29	6,87	3719,11 Nq=64,2 Ng=109,41 Nc=75,31 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,79 ic=0,79 ig=0,71	29,11
2	232,52	3,73	93,68	7,18	880,45 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,55 ic=0,53 ig=0,41	45,72
3	217,52	3,73	90,22	12,54	1023,49 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,63 ic=0,61 ig=0,5	43,10
4	244,91	3,73	94,92	14,18	1134,63 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,69 ic=0,68 ig=0,58	49,29

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	62,61	8,19	127,75	27557,66	1,07
2	62,28	13,05	19,26	12158,72	1,07

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

3	58,27	7,19	23,75	20466,95	1,19
4	65,60	6,70	23,02	20471,48	1,07

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

4.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta per la sezione del muro di altezza massima pari a 1.00 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=3.01**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	British Standard
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1,97 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,33 m
Ordinata vertice destro superiore ys	6,63 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Sisma

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,127
---	-------

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Coefficiente azione sismica verticale 0,063

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,0	0,5
3	9,0	1,5
4	14,0	1,5

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,0	0,0
3	9,0	0,0
4	14,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1,0 0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1,0 0,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1,25
Coesione efficace 1,25
Coesione non drenata 1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0		40	1750	1850	
2	0		40	1750	1850	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato 3,01
Ascissa centro superficie 7,0 m
Ordinata centro superficie 6,63 m
Raggio superficie 7,1 m

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$xc = 7,00$ $yc = 6,633$ $Rc = 7,104$ $Fs=3,012$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,42	-28,4	0,48	88,61	11,25	5,58	0,0	40,0	0,0	118,5	33,0
2	0,42	-24,5	0,47	245,42	31,17	15,46	0,0	40,0	0,0	309,0	86,1
3	0,42	-20,8	0,45	377,13	47,9	23,76	0,0	40,0	0,0	451,2	125,7
4	0,42	-17,2	0,44	485,7	61,68	30,6	0,0	40,0	0,0	556,3	155,0
5	0,42	-13,6	0,44	572,61	72,72	36,07	0,0	40,0	0,0	631,8	176,0
6	0,42	-10,1	0,43	638,93	81,14	40,25	0,0	40,0	0,0	683,0	190,2
7	0,42	-6,7	0,43	685,46	87,05	43,18	0,0	40,0	0,0	713,3	198,7
8	0,42	-3,2	0,43	712,71	90,51	44,9	0,0	40,0	0,0	725,2	202,0
9	0,42	0,2	0,42	720,99	91,57	45,42	0,0	40,0	0,0	720,3	200,6
10	0,42	3,6	0,43	710,38	90,22	44,75	0,0	40,0	0,0	699,4	194,8
11	0,42	7,1	0,43	680,77	86,46	42,89	0,0	40,0	0,0	663,1	184,7
12	0,42	10,6	0,43	854,98	108,58	53,86	0,0	40,0	0,0	826,8	230,3
13	0,49	14,3	0,5	1284,47	163,13	80,92	0,0	40,0	0,0	1237,7	344,7
14	0,36	17,9	0,38	1030,66	130,89	64,93	0,0	40,0	0,0	993,7	276,8
15	0,42	21,3	0,46	1105,35	140,38	69,64	0,0	40,0	0,0	1070,1	298,1
16	0,42	25,0	0,47	970,66	123,27	61,15	0,0	40,0	0,0	947,8	264,0
17	0,42	28,8	0,48	810,58	102,94	51,07	0,0	40,0	0,0	802,3	223,5
18	0,42	32,8	0,51	622,37	79,04	39,21	0,0	40,0	0,0	627,8	174,9
19	0,42	37,0	0,53	402,26	51,09	25,34	0,0	40,0	0,0	416,3	116,0

5 ATTRAVERSAMENTO TM08

5.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM08, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 2 ordini, per un'altezza di 2.00 m e larghezza alla base di 1.50 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

5.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Depositi eluvio-colluviali	ec	16	0	22	-	-
Terreni sabbioso-ghiaiosi di alluvioni fluviali	a	19	0-9	27-43	0-50	8-54.3
Terreni prevalentemente argillosi, siltoso-marnosi	Qa	18.45	5-20	19-32	25-100	13.4-65.5

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "C"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la falda idrica, il livello piezometrico misurato si attesta ad una profondità compresa tra circa 3.50 e 5.50 m da p.c. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geologico". Considerata la natura dei terreni e la variabilità marcatamente stagionale dei livelli idrici in progetto si assume, cautelativamente, di considerare il livello di falda medio a **-3.50 m da p.c.**

5.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

latitudine: 37.261332 [°]

longitudine: 14.927341 [°]

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_U : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.076	2.497	0.275
SLD	63	101	0.1083	2.335	0.310
SLV	10	949	0.3814	2.334	0.470
SLC	5	1950	0.5385	2.339	0.529

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "C"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.5

S_S orizzontale SLD = 1.5

S_S orizzontale SLV = 1.482

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.07$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.175$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.087$, coefficiente sismico verticale

5.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.50 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 2.00 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

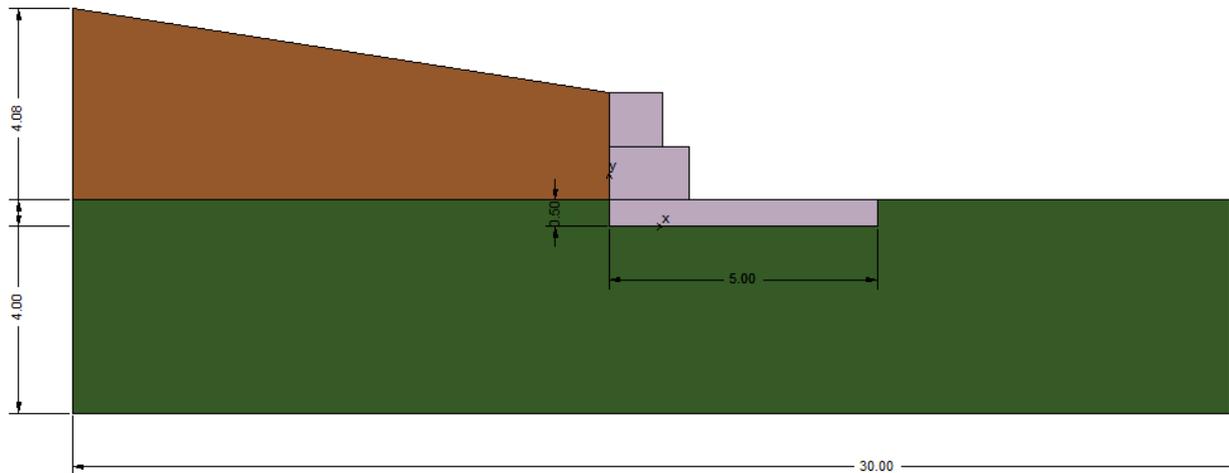
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Geometria



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

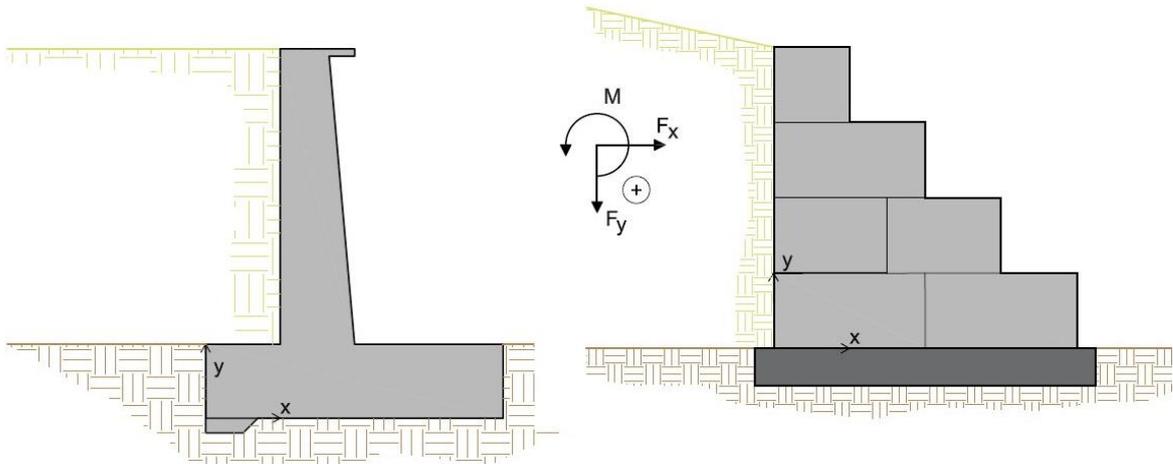


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

- φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- δ Angolo di attrito terra-muro;
- ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Dove V_D è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_D è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_D si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

- c_u coesione non drenata
 q pressione litostatica totale sul piano di posa
 s_c fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni}$$

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan\varphi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\varphi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan\varphi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	TIPI			Peso[KN/m³]
	B[m]	H[m]	L[m]	
Gabbione_1	1,50	1,00	10,00	20,00
Gabbione_2	1,00	1,00	10,00	20,00
Gabbione_3	5,00	0,50	10,00	20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_1	0,00	1
3	Gabbione_2	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	9,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m³]	Peso saturo [KN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m²]

MANDATARIA:

MANDANTI:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

a	19,00	19,00	35,00	9,00	26,00	5,00
Qa	18,45	18,45	30,00	10,00	22,50	5,00

PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,18 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,09 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,271 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,447 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,176 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	15,82	7,23	0,00	0,00	0,79
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	6,46	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,344 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,57 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,225 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	19,89	9,10	0,00	0,00	0,80
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-10,71	4,44	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,344 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,57 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,225 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,58	0,82

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Spinta terreno monte	19,89	9,10	0,00	0,00	0,80
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	8,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-10,71	4,44	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,344 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,57 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,225 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	19,89	9,10	0,00	0,00	0,80
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	8,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-10,71	4,44	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	1,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-0,46	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	378,66	12,51	69,42	22,28	1118,87 Nq=18,4 Ng=22,4 Nc=30,14 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,74 ic=0,72 ig=0,63	47,99
2	412,20	15,84	83,99	19,89	736,84 Nq=10,43 Ng=10,56 Nc=20,42 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,9 ic=0,89 ig=0,86	53,03
3	377,95	15,84	79,85	28,18	632,07 Nq=10,43 Ng=10,56 Nc=20,42 sq=1 sc=1	48,81

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					sg=1 iq=0,8 ic=0,78 ig=0,71	
4	432,19	15,84	85,46	29,30	627,80 Nq=10,43 Ng=10,56 Nc=20,42 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,8 ic=0,78 ig=0,71	56,42

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	30,28	3,12	23,32	10038,69	1,06
2	26,02	4,22	13,89	3417,09	1,06
3	23,86	2,83	12,95	7591,03	1,19
4	27,28	2,92	11,13	7592,89	1,06

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

5.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta, a vantaggio di sicurezza, per la sezione del muro di altezza massima pari a 2.00 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k, ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=2.36**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	8,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

=====

=====

Sisma

=====

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,175
Coefficiente azione sismica verticale	0,087

=====

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,5	0,5
3	10,0	2,5
4	15,0	2,5

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,5	0,0
3	10,0	0,0
4	15,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	0,0

=====

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

=====

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0,09		35	1900	1900	
2	0,1		30	1845	1845	

Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	2,36
Ascissa centro superficie	8,25 m
Ordinata centro superficie	5,25 m
Raggio superficie	6,29 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 8,25 yc = 5,25 Rc = 6,286 Fs=2,361

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,49	-38,1	0,62	186,7	32,67	16,24	0,09	35,0	0,0	550,7	399,9
2	0,49	-32,6	0,58	506,49	88,64	44,06	0,1	30,0	0,0	899,2	465,6
3	0,49	-27,5	0,55	760,7	133,12	66,18	0,1	30,0	0,0	1120,9	507,3
4	0,49	-22,5	0,53	965,76	169,01	84,02	0,1	30,0	0,0	1267,2	533,9
5	0,49	-17,8	0,51	1127,28	197,27	98,07	0,1	30,0	0,0	1360,4	550,0
6	0,49	-13,2	0,5	1249,07	218,59	108,67	0,1	30,0	0,0	1413,3	558,1
7	0,49	-8,6	0,49	1333,74	233,4	116,04	0,1	30,0	0,0	1433,9	560,0
8	0,49	-4,1	0,49	1382,95	242,02	120,32	0,1	30,0	0,0	1426,8	556,4
9	0,49	0,3	0,49	1397,63	244,58	121,59	0,1	30,0	0,0	1394,6	548,0
10	0,49	4,8	0,49	1716,42	300,37	149,33	0,1	30,0	0,0	1670,9	616,3
11	0,49	9,3	0,49	2266,7	396,67	197,2	0,1	30,0	0,0	2175,6	741,7
12	0,49	13,8	0,51	2814,55	492,55	244,87	0,1	30,0	0,0	2683,9	871,8
13	0,48	18,5	0,51	2929,64	512,69	254,88	0,1	30,0	0,0	2788,9	897,8
14	0,49	23,2	0,53	2795,42	489,2	243,2	0,1	30,0	0,0	2665,6	877,1
15	0,49	28,2	0,55	2583,72	452,15	224,78	0,1	30,0	0,0	2480,4	841,3
16	0,49	33,4	0,58	2321,86	406,33	202,0	0,1	30,0	0,0	2254,0	799,0
17	0,49	38,9	0,63	1991,42	348,5	173,25	0,09	35,0	0,0	1909,0	805,5
18	0,49	44,9	0,69	1585,55	277,47	137,94	0,09	35,0	0,0	1525,6	715,4
19	0,49	51,6	0,79	1079,1	188,84	93,88	0,09	35,0	0,0	989,0	593,5

6 ATTRAVERSAMENTI TM12-TM13-TM16-TM22

6.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale dei fossi in corrispondenza degli attraversamenti idraulici TM12-TM13-TM16-TM22, prevedono la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

Essendo la geometria delle gabbionate uguale per tutti gli attraversamenti considerati ed essendo presenti terreni delle medesime caratteristiche, si esegue un'unica verifica per tutti gli attraversamenti indicati.

La sezione tipologica prevede gabbioni disposti su 1 ordine, per un'altezza di 1.00 m, e larghezza alla base di 1.00 m.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

6.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[KPa]	[MPa]
Alluvioni (grana fine)	a_fine	17-19	5-15	23-28	100	20

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "C"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la falda idrica, il livello piezometrico non è stato intercettato a profondità interferenti con le opere nella zona in oggetto. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geotecnico".

6.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area. Si fa riferimento, a vantaggio di sicurezza, alle azioni di entità maggiore. In ogni caso la massima accelerazione è confrontabile per tutti gli attraversamenti considerati.

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.0759	2.504	0.273
SLD	63	101	0.1063	2.364	0.310
SLV	10	949	0.3745	2.343	0.468
SLC	5	1950	0.5306	2.342	0.528

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "C"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.5

S_S orizzontale SLD = 1.5

S_S orizzontale SLV = 1.17

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.07$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.136$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.068$, coefficiente sismico verticale.

6.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.00 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 1.00 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

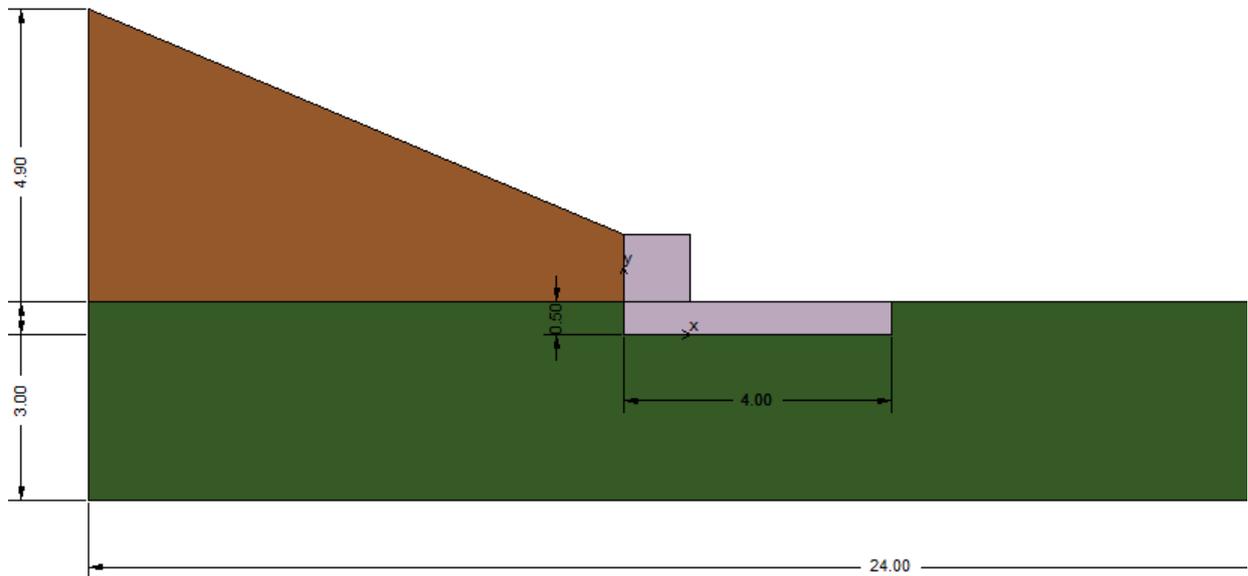
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Geometria



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

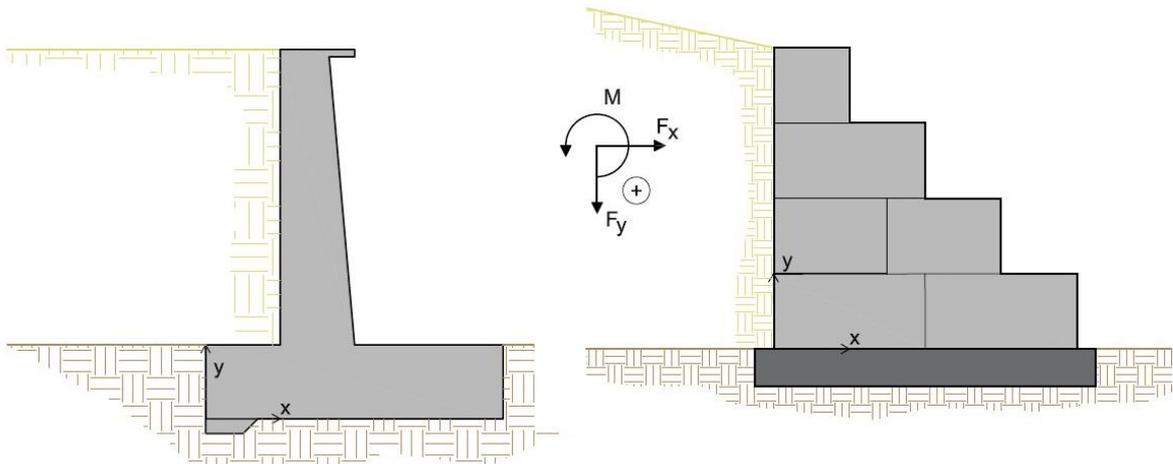


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_a :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

δ Angolo di attrito terra-muro;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo θ di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo α di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità δ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata

q pressione litostatica totale sul piano di posa

s_c fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni}$$

nastriiformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	B[m]	TIPI		L[m]	Peso[KN/m³]
		H[m]			
Gabbione_1	1,00	1,00		10,00	20,00
Gabbione_2	1,00	1,00		10,00	20,00
Gabbione_3	4,00	0,50		10,00	20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_2	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	27,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m³]	Peso saturo [KN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m²]
a_fine	17,00	19,00	28,00	10,00	21,00	5,00
a_fne	17,00	19,00	28,00	10,00	21,00	5,00

PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,14 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,07 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,658 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	1,069 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,411 [-]

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	11,74	4,51	0,00	0,00	0,51
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,08	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,907 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	1,132 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,226 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	16,19	6,21	0,00	0,00	0,51
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,907 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	1,132 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,226 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	54,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	16,19	6,21	0,00	0,00	0,51
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Coefficiente di spinta attiva statica	0,907 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	1,132 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,226 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	60,00	0,00	1,50	0,50
Spinta terreno monte	16,19	6,21	0,00	0,00	0,51
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-0,27	0,00	4,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	168,03	5,98	44,76	15,82	818,84 Nq=14,72 Ng=16,72 Nc=25,8 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,75 ic=0,73 ig=0,65	30,76
2	189,60	8,24	56,47	16,19	546,02 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,89 ic=0,88 ig=0,85	35,74
3	174,60	8,24	54,17	18,42	512,75 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,85 ic=0,83 ig=0,79	33,12
4	193,04	8,24	56,69	19,13	509,56 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,85 ic=0,83	36,74

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					ig=0,78	
--	--	--	--	--	---------	--

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	28,10	2,83	26,62	15320,06	1,08
2	23,00	3,49	15,28	7791,48	1,08
3	21,18	2,94	15,48	12623,68	1,20
4	23,42	2,96	13,87	12626,47	1,08

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

6.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta per la sezione del muro di altezza massima pari a 1.00 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=3.83**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,1
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4,67 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	1,97 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9,33 m
Ordinata vertice destro superiore ys	6,63 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,136
Coefficiente azione sismica verticale	0,068

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,0	0,5
3	9,0	1,5
4	14,0	1,5

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,0	0,0
3	9,0	0,0
4	14,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0,10		28	1700	1900	
2	0,10		28	1700	1900	

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	3,83
Ascissa centro superficie	8,17 m
Ordinata centro superficie	4,53 m
Raggio superficie	5,63 m

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 8,167 yc = 4,533 Rc = 5,634 Fs=3,83

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,43	-41,3	0,58	148,25	20,16	10,08	0,1	28,0	0,0	376,3	203,2
2	0,43	-35,7	0,53	402,71	54,77	27,38	0,1	28,0	0,0	662,0	231,4
3	0,43	-30,4	0,5	610,82	83,07	41,54	0,1	28,0	0,0	855,0	250,1
4	0,43	-25,4	0,48	780,27	106,12	53,06	0,1	28,0	0,0	988,5	262,7
5	0,43	-20,6	0,46	916,13	124,59	62,3	0,1	28,0	0,0	1080,6	271,1
6	0,43	-15,9	0,45	1021,81	138,97	69,48	0,1	28,0	0,0	1141,7	276,4
7	0,43	-11,4	0,44	1099,67	149,56	74,78	0,1	28,0	0,0	1178,1	279,2
8	0,43	-6,9	0,44	1151,28	156,57	78,29	0,1	28,0	0,0	1193,7	279,9
9	0,43	-2,5	0,43	1177,62	160,16	80,08	0,1	28,0	0,0	1190,8	278,8
10	0,43	1,9	0,43	1442,31	196,15	98,08	0,1	28,0	0,0	1432,6	312,3
11	0,43	6,3	0,43	1705,95	232,01	116,0	0,1	28,0	0,0	1678,2	345,0
12	0,44	10,8	0,45	1878,99	255,54	127,77	0,1	28,0	0,0	1841,7	373,1
13	0,43	15,4	0,45	1771,03	240,86	120,43	0,1	28,0	0,0	1738,1	358,8
14	0,43	20,0	0,46	1668,94	226,98	113,49	0,1	28,0	0,0	1648,9	349,5
15	0,43	24,8	0,48	1537,02	209,03	104,52	0,1	28,0	0,0	1536,8	338,2
16	0,43	29,8	0,5	1372,0	186,59	93,3	0,1	28,0	0,0	1395,1	324,2
17	0,43	35,0	0,53	1169,09	159,0	79,5	0,1	28,0	0,0	1212,5	306,7
18	0,43	40,6	0,57	920,98	125,25	62,63	0,1	28,0	0,0	969,7	283,9
19	0,43	46,7	0,63	615,92	83,76	41,88	0,1	28,0	0,0	630,1	252,9

7 ATTRAVERSAMENTO TM23

7.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM23, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 2 ordini, per un'altezza di 1.50 m e larghezza alla base di 1.50 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

7.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Alluvioni (grana fine)	a_fine	17-19	5-15	23-28	100	20
Alluvioni (grana grossa)	a_gross	19-21	0	38-42	-	40

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "C"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la **falda** idrica, il livello piezometrico è stato intercettato nella zona in oggetto a quote comprese tra **4.69** e **5.66 m** dal piano campagna. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geotecnico".

7.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

latitudine: 37.303509 [°]

longitudine: 14.988441 [°]

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.0758	2.506	0.272
SLD	63	101	0.1054	2.375	0.310
SLV	10	949	0.3717	2.347	0.468
SLC	5	1950	0.5273	2.342	0.528

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "C"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.5

S_S orizzontale SLD = 1.5

S_S orizzontale SLV = 1.17

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.17$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.134$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.067$, coefficiente sismico verticale

7.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.50 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 1.50 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

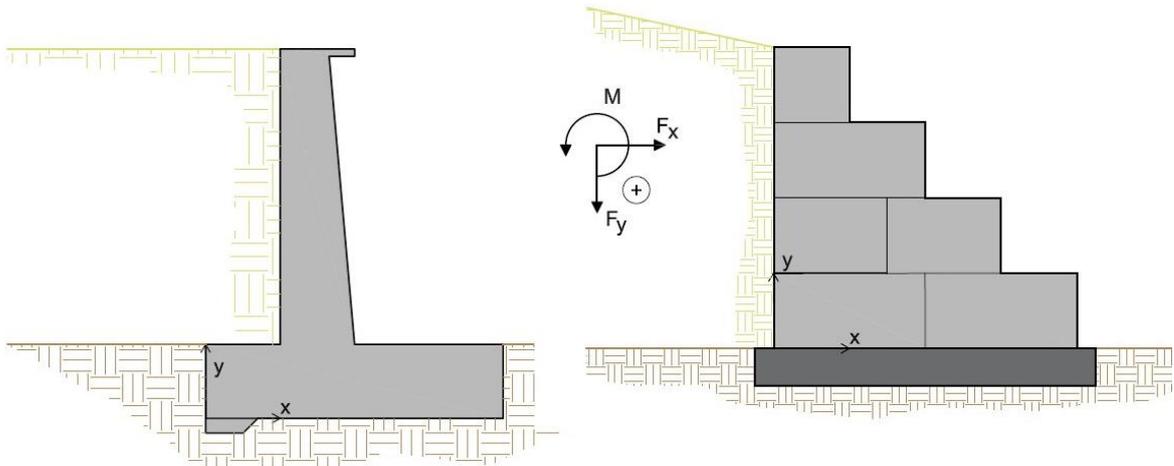


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \varphi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

- δ Angolo di attrito terra-muro;
- ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata
 q pressione litostatica totale sul piano di posa
 s_c fattore di forma

$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right)$ per fondazioni rettangolari, il valore di s_c viene assunto pari ad 1 per fondazioni

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \text{ per forma rettangolare}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$s_{\gamma} = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_{\gamma} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	TIPI			
	B[m]	H[m]	L[m]	Peso[KN/m ³]
Gabbione_1	1,00	0,50	10,00	20,00
Gabbione_2	1,50	1,00	10,00	20,00
Gabbione_3	5,00	0,50	10,00	20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_2	0,00	1
3	Gabbione_1	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	11,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m ³]	Peso saturo [KN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m ²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m ²]
a_fine	17,00	19,00	28,00	10,00	21,00	5,00
a_fne	17,00	19,00	28,00	10,00	21,00	5,00

PARAMETRI SISMA:

MANDATARIA:

MANDANTI:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Coefficiente sismico orizzontale - Kh 0,13 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv 0,07 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h 0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate 4

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,375 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,554 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,179 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	11,90	4,57	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	3,55	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,708 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,245 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	14,71	5,65	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,708 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,245 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	81,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	14,71	5,65	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,708 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,245 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	14,71	5,65	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,86	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	1,87	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-8,54	3,28	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-0,27	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	320,34	8,02	61,30	15,45	946,14 Nq=14,72 Ng=16,72 Nc=25,8 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,81 ic=0,8 ig=0,73	39,05
2	343,76	9,91	72,77	14,71	608,86 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,94 ic=0,93 ig=0,91	42,54
3	314,01	9,91	69,31	19,57	555,92 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1	39,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					sg=1 iq=0,87 ic=0,86 ig=0,81	
4	353,09	9,91	73,38	20,27	552,90 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,87 ic=0,85 ig=0,81	44,14

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	39,94	3,97	24,23	10105,31	1,13
2	34,68	4,95	14,31	5194,43	1,13
3	31,68	3,54	14,25	8328,19	1,26
4	35,62	3,62	12,53	8330,03	1,13

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

7.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta, a vantaggio di sicurezza, per la sezione del muro di altezza massima pari a 1.50 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=3.13**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

=====	
Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	
=====	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Maglia dei Centri

=====	
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	7,5 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,134
Coefficiente azione sismica verticale	0,067

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,5	0,5
3	10,0	2,0
4	15,0	2,0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,5	0,0
3	10,0	0,0
4	15,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

=====	
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
=====	

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====	
Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No
=====	

Stratigrafia

Strato	Coazione (kg/cm ²)	Coazione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

1	0,1		28	1700	1900	
2	0,1		28	1700	1900	

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	3,13
Ascissa centro superficie	8,5 m
Ordinata centro superficie	5,5 m
Raggio superficie	6,61 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 8,50 yc = 5,50 Rc = 6,606 Fs=3,129

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,5	-38,1	0,63	171,8	23,02	11,51	0,1	28,0	0,0	433,7	275,0
2	0,5	-32,8	0,59	468,73	62,81	31,4	0,1	28,0	0,0	762,3	318,1
3	0,5	-27,8	0,56	712,58	95,49	47,74	0,1	28,0	0,0	988,4	347,1
4	0,5	-23,0	0,54	910,94	122,07	61,03	0,1	28,0	0,0	1145,6	366,9
5	0,5	-18,4	0,52	1068,92	143,24	71,62	0,1	28,0	0,0	1253,1	380,0
6	0,5	-13,9	0,51	1190,07	159,47	79,73	0,1	28,0	0,0	1322,4	388,0
7	0,5	-9,5	0,5	1276,82	171,09	85,55	0,1	28,0	0,0	1360,5	391,9
8	0,5	-5,2	0,5	1330,79	178,33	89,16	0,1	28,0	0,0	1371,9	392,3
9	0,5	-0,9	0,5	1352,94	181,29	90,65	0,1	28,0	0,0	1359,1	389,5
10	0,5	3,4	0,5	1676,46	224,65	112,32	0,1	28,0	0,0	1653,1	439,7
11	0,5	7,8	0,5	2053,66	275,19	137,6	0,1	28,0	0,0	2004,4	500,6
12	0,36	11,5	0,37	1714,91	229,8	114,9	0,1	28,0	0,0	1668,3	401,4
13	0,63	16,0	0,66	3056,18	409,53	204,76	0,1	28,0	0,0	2974,2	715,1
14	0,5	21,1	0,53	2244,66	300,79	150,39	0,1	28,0	0,0	2196,5	543,2
15	0,5	25,8	0,55	2063,3	276,48	138,24	0,1	28,0	0,0	2039,2	522,6
16	0,5	30,7	0,58	1838,76	246,39	123,2	0,1	28,0	0,0	1843,1	497,6
17	0,5	35,9	0,61	1564,61	209,66	104,83	0,1	28,0	0,0	1593,5	466,4
18	0,5	41,4	0,66	1231,11	164,97	82,48	0,1	28,0	0,0	1265,3	426,3
19	0,5	47,4	0,73	822,54	110,22	55,11	0,1	28,0	0,0	810,9	372,2

8 ATTRAVERSAMENTO TM24

8.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM24, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 2 ordini, per un'altezza di 1.50 m e larghezza alla base di 1.50 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

8.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[KPa]	[MPa]
Alluvioni (grana fine)	a_fine	17-19	5-15	23-28	100	20
Alluvioni (grana grossa)	a_gross	19-21	0	38-42	-	40

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "B"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la **falda** idrica, il livello piezometrico è stato intercettato nella zona in oggetto a quote comprese tra **4.98** e **5.37 m** dal piano campagna. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geotecnico".

8.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

latitudine: 37.304260 [°]

longitudine: 14.990898 [°]

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: B
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.0758	2.506	0.272
SLD	63	101	0.1054	2.376	0.310
SLV	10	949	0.3715	2.347	0.468
SLC	5	1950	0.5271	2.343	0.528

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "B"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.2

S_S orizzontale SLD = 1.2

S_S orizzontale SLV = 1.05

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.07$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.175$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.087$, coefficiente sismico verticale

8.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.50 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 1.50 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

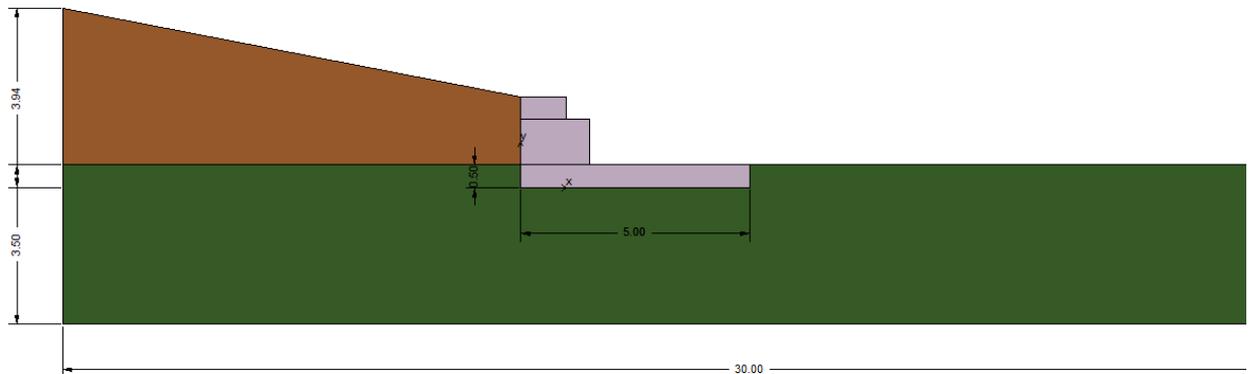
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Geometria



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

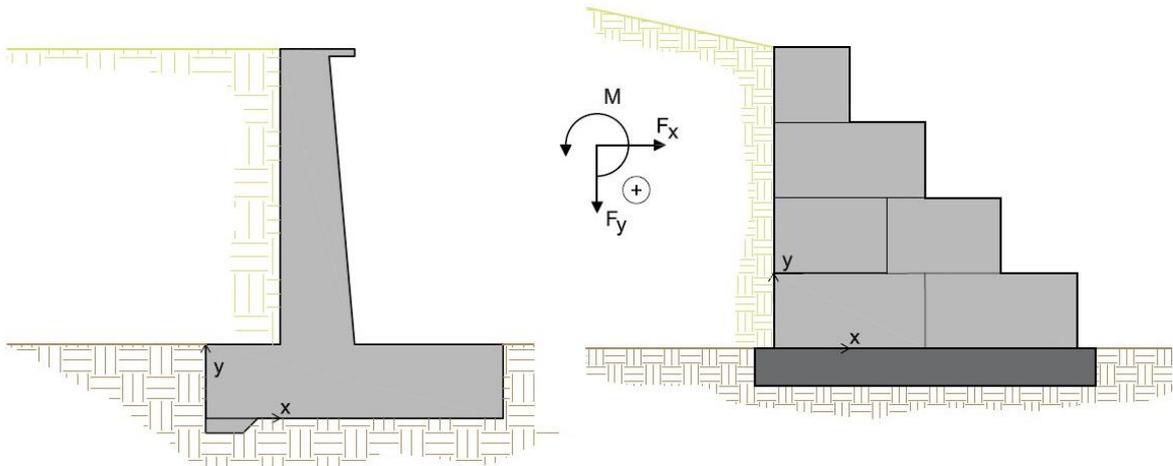


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

- δ Angolo di attrito terra-muro;
- ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità α tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

Dove V_d è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_d è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_d si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' \cdot L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

c_u coesione non drenata
 q pressione litostatica totale sul piano di posa
 s_c fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni}$$

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot \phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan \phi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	TIPI				Peso [KN/m ³]
	B [m]	H [m]	L [m]		
Gabbione_1	1,50	1,00	10,00		20,00
Gabbione_2	1,00	0,50	10,00		20,00
Gabbione_3	5,00	0,50	10,00		20,00

STRATI:

ID	Tipo	d [m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_1	0,00	1
3	Gabbione_2	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	11,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m ³]	Peso saturo [KN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m ²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m ²]
a_fine	18,00	18,00	28,00	10,00	21,00	5,00
a_fine	18,00	18,00	28,00	10,00	21,00	5,00

PARAMETRI SISMA:

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Coefficiente sismico orizzontale - Kh 0,12 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv 0,06 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h 0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate 4

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,375 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,533 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,158 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	12,60	4,84	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	3,32	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,677 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,214 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	15,57	5,98	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-9,05	3,47	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica 0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,677 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica 0,214 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	81,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	15,57	5,98	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-9,05	3,47	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,463 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,677 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,214 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,69	0,67
Spinta terreno monte	15,57	5,98	0,00	0,00	0,67
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	1,72	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-9,05	3,47	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-0,26	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	321,68	8,49	61,40	15,91	980,97 Nq=14,72 Ng=16,72 Nc=25,8 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,81 ic=0,79 ig=0,72	39,27
2	346,46	10,50	73,47	15,57	632,12 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,93 ic=0,93 ig=0,9	42,96
3	316,71	10,50	70,02	20,06	580,54 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1	39,42

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					sg=1 iq=0,87 ic=0,86 ig=0,81	
4	355,07	10,50	74,03	20,72	578,05 Nq=8,7 Ng=8,25 Nc=18,1 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,87 ic=0,86 ig=0,81	44,44

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	37,88	3,86	24,98	8930,95	1,13
2	33,01	4,72	14,71	4905,87	1,13
3	30,17	3,49	14,73	7369,14	1,26
4	33,83	3,57	13,01	7370,77	1,13

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

8.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta, a vantaggio di sicurezza, per la sezione del muro di altezza massima pari a 1.50 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=3.19**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Maglia dei Centri

=====	
Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2,5 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	7,5 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,121
Coefficiente azione sismica verticale	0,06

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,5	0,5
3	10,0	2,0
4	15,0	2,0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,5	0,0
3	10,0	0,0
4	15,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

=====	
Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
=====	

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====	
Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coazione efficace	1,25
Coazione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No
=====	

Stratigrafia

Strato	Coazione (kg/cm ²)	Coazione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

1	0.10		28	1800	1800	
2	0.10		28	1800	1800	

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	3,19
Ascissa centro superficie	8,5 m
Ordinata centro superficie	5,5 m
Raggio superficie	6,61 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 8,50 yc = 5,50 Rc = 6,606 Fs=3,192

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,5	-38,1	0,63	181,9	22,01	10,91	0,1	28,0	0,0	443,5	271,2
2	0,5	-32,8	0,59	496,3	60,05	29,78	0,1	28,0	0,0	794,5	317,1
3	0,5	-27,8	0,56	754,5	91,29	45,27	0,1	28,0	0,0	1036,4	348,2
4	0,5	-23,0	0,54	964,52	116,71	57,87	0,1	28,0	0,0	1205,0	369,5
5	0,5	-18,4	0,52	1131,8	136,95	67,91	0,1	28,0	0,0	1320,6	383,7
6	0,5	-13,9	0,51	1260,07	152,47	75,6	0,1	28,0	0,0	1395,6	392,5
7	0,5	-9,5	0,5	1351,93	163,58	81,12	0,1	28,0	0,0	1437,5	397,0
8	0,5	-5,2	0,5	1409,07	170,5	84,54	0,1	28,0	0,0	1451,0	397,7
9	0,5	-0,9	0,5	1432,52	173,34	85,95	0,1	28,0	0,0	1438,7	395,0
10	0,5	3,4	0,5	1775,07	214,78	106,5	0,1	28,0	0,0	1751,5	447,4
11	0,5	7,8	0,5	2174,47	263,11	130,47	0,1	28,0	0,0	2125,0	510,7
12	0,36	11,5	0,37	1815,79	219,71	108,95	0,1	28,0	0,0	1769,5	410,3
13	0,63	16,0	0,66	3235,96	391,55	194,16	0,1	28,0	0,0	3156,6	731,2
15	0,5	25,8	0,55	2184,67	264,34	131,08	0,1	28,0	0,0	2168,7	533,8
16	0,5	30,7	0,58	1946,92	235,58	116,82	0,1	28,0	0,0	1963,0	507,7
17	0,5	35,9	0,61	1656,64	200,45	99,4	0,1	28,0	0,0	1700,9	475,0
18	0,5	41,4	0,66	1303,52	157,73	78,21	0,1	28,0	0,0	1356,0	433,0
19	0,5	47,4	0,73	870,93	105,38	52,26	0,1	28,0	0,0	878,2	376,0

9 ATTRAVERSAMENTO TM31

9.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM24, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 2 ordini, per un'altezza di 2.00 m e larghezza alla base di 1.50 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

9.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Depositi alluvionali (grana grossa)	a_gross	19-21	0	38-42	-	40
Argille	Qa	17-19	10-20	20-25	150	15-60
Materiale sedimentario a grana grossa	Pvs	16-18	0	39-41	-	100-150

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "C"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la falda idrica, il livello piezometrico misurato si attesta ad una profondità compresa tra circa 6.60 m e 7.40 m dal p.c.. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geologico". Considerata la natura dei terreni e la variabilità marcatamente stagionale dei livelli idrici in progetto si assume, cautelativamente, di considerare il livello di falda medio a **6.60 m dal p.c.**

9.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

latitudine: 37.318595 [°]

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

longitudine: 15.026822 [°]

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

SLO – Stato limite di operatività

SLD – Stato limite di danno

STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

SLV – Stato limite di salvaguardia della vita

SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.0757	2.504	0.272
SLD	63	101	0.1047	2.386	0.310
SLV	10	949	0.3691	2.351	0.468
SLC	5	1950	0.5246	2.344	0.528

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "C"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.5

S_S orizzontale SLD = 1.5

S_S orizzontale SLV = 1.18

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.18$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.135$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.067$, coefficiente sismico verticale

9.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 1.50 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 2.00 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

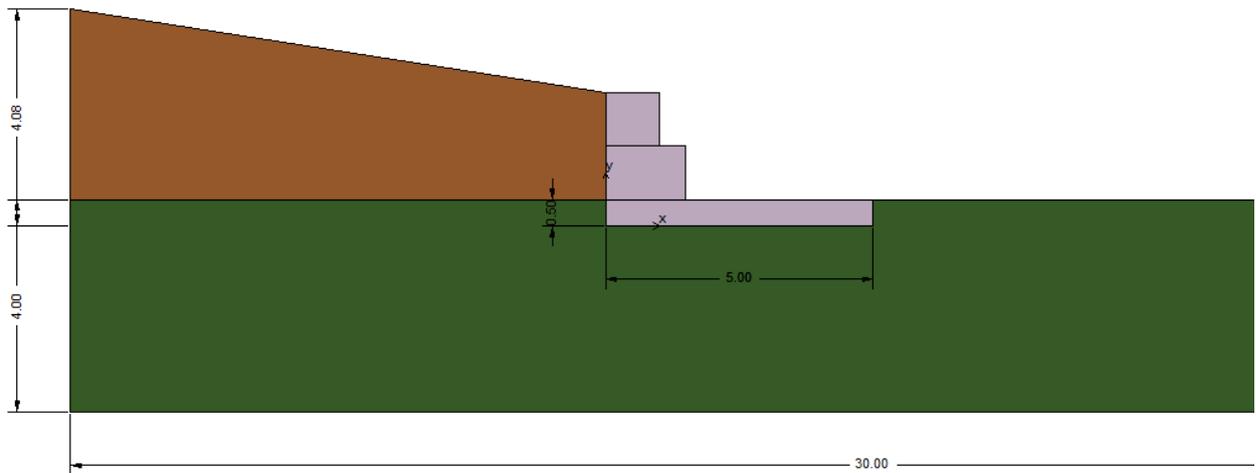
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Geometria



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

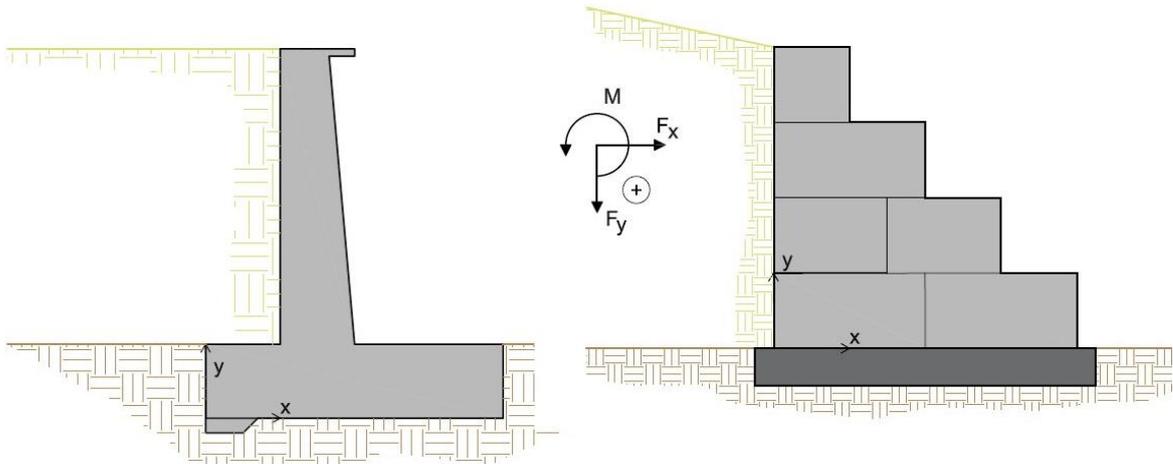


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

- φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- δ Angolo di attrito terra-muro;
- ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo θ di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo θ' di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità α tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Dove V_D è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_D è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_D si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

- c_u coesione non drenata
 q pressione litostatica totale sul piano di posa
 s_c fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni}$$

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan\phi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan\phi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	B[m]	TIPI		Peso[KN/m ³]
		H[m]	L[m]	
Gabbione_1	1,50	1,00	10,00	20,00
Gabbione_2	1,00	1,00	10,00	20,00
Gabbione_3	5,00	0,50	10,00	20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_1	0,00	1
3	Gabbione_2	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	9,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m ³]	Peso saturo [KN/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m ²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m ²]
a_gross	20,00	20,00	40,00	0,00	30,00	5,00
a_gross	20,00	20,00	40,00	0,00	30,00	5,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,14 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,07 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,22 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,332 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,112 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	11,90	6,87	0,00	0,00	0,85
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	4,12	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	15,50	8,95	0,00	0,00	0,85
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-30,34	17,52	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	90,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	15,50	8,95	0,00	0,00	0,85

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	5,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-30,34	17,52	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	100,00	0,00	1,58	0,82
Spinta terreno monte	15,50	8,95	0,00	0,00	0,85
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	5,16	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	2,98	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-30,34	17,52	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-1,15	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	376,85	10,07	86,70	16,01	3837,44 Nq=64,2 Ng=109,41 Nc=75,31 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,72 ic=0,72 ig=0,61	47,70
2	480,10	13,13	129,61	15,50	1550,04 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,76 ic=0,75 ig=0,66	63,37
3	445,85	13,13	123,83	20,67	1681,45 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1	59,15

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					sc=1 sg=1 iq=0,82 ic=0,81 ig=0,74	
4	495,00	13,13	130,66	22,65	1770,45 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,87 ic=0,86 ig=0,81	66,22

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	37,41	5,41	80,46	9571,23	1,05
2	36,57	8,36	24,46	3990,90	1,06
3	33,96	5,99	28,42	7063,38	1,18
4	37,71	5,77	26,74	7065,11	1,06

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

9.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta, a vantaggio di sicurezza, per la sezione del muro di altezza massima pari a 2.00 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=2.11**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

=====

Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

=====

Maglia dei Centri

=====

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	8,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,135
Coefficiente azione sismica verticale	0,067

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,5	0,5
3	10,0	2,5
4	15,0	2,5

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,5	0,0
3	10,0	0,0
4	15,0	0,0

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0	1,0

=====

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

=====

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

			(°)				
1	0		40	2000	2000		
2	0		40	2000	2000		

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

=====

Fs minimo individuato	2,11
Ascissa centro superficie	7,5 m
Ordinata centro superficie	7,5 m
Raggio superficie	8,02 m

=====

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 7,50 yc = 7,50 Rc = 8,017 Fs=2,114

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,51	-27,1	0,57	138,36	18,68	9,27	0,0	40,0	0,0	195,1	77,5
2	0,51	-23,1	0,55	380,74	51,4	25,51	0,0	40,0	0,0	498,3	197,8
3	0,51	-19,2	0,54	580,85	78,41	38,92	0,0	40,0	0,0	713,7	283,3
4	0,51	-15,4	0,53	741,9	100,16	49,71	0,0	40,0	0,0	863,9	342,9
5	0,51	-11,7	0,52	866,27	116,95	58,04	0,0	40,0	0,0	963,3	382,4
6	0,51	-8,0	0,51	955,64	129,01	64,03	0,0	40,0	0,0	1021,6	405,5
7	0,51	-4,3	0,51	1011,18	136,51	67,75	0,0	40,0	0,0	1045,2	414,9
8	0,51	-0,7	0,51	1033,57	139,53	69,25	0,0	40,0	0,0	1038,4	412,1
9	0,51	3,0	0,51	1023,09	138,12	68,55	0,0	40,0	0,0	1003,7	398,4
10	0,51	6,6	0,51	979,61	132,25	65,63	0,0	40,0	0,0	942,7	374,2
11	0,51	10,3	0,52	1491,15	201,3	99,91	0,0	40,0	0,0	1413,6	561,1
12	0,51	14,0	0,52	2069,56	279,39	138,66	0,0	40,0	0,0	1940,7	770,3
13	0,3	17,0	0,32	1492,96	201,55	100,03	0,0	40,0	0,0	1392,2	552,6
14	0,71	20,9	0,76	3556,85	480,18	238,31	0,0	40,0	0,0	3306,2	1312,3
15	0,51	25,7	0,56	2265,85	305,89	151,81	0,0	40,0	0,0	2111,2	837,9
16	0,51	29,8	0,59	1994,29	269,23	133,62	0,0	40,0	0,0	1872,4	743,2
17	0,51	34,1	0,61	1672,38	225,77	112,05	0,0	40,0	0,0	1591,6	631,7
18	0,51	38,6	0,65	1292,52	174,49	86,6	0,0	40,0	0,0	1255,8	498,4
19	0,51	43,4	0,7	843,57	113,88	56,52	0,0	40,0	0,0	844,2	335,1

10 ATTRAVERSAMENTO TM32

10.1 GEOMETRIA

La sistemazione spondale del fosso in corrispondenza dell'attraversamento idraulico TM32, prevede la realizzazione di gabbioni a sostegno del terreno su entrambi i lati del fosso.

I gabbioni saranno disposti su 3 ordini, per un'altezza di 3.00 m con larghezza in testa pari a 1.00 m e larghezza alla base di 2.00 m.

Ai fini delle verifiche si considera la sezione di altezza maggiore, intendendo le verifiche delle sezioni di altezza più bassa incluse nelle stesse.

Per ulteriori dettagli si vedano gli elaborati grafici di progetto.

10.2 INQUADRAMENTO STRATIGRAFICO E GEOTECNICO DEL SITO

La campagna di indagini effettuata ha permesso il riconoscimento dei litotipi, la successione stratigrafica e la caratterizzazione meccanica dei terreni lungo tutto lo sviluppo del tracciato di progetto. I risultati di dette indagini sono descritti nella relazione geotecnica alla quale si rimanda per ulteriori approfondimenti.

Facendo riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica, nella tabella che segue sono riportati i valori dei parametri meccanici degli strati interessati dal calcolo delle strutture in esame:

Litotipo	Unità geotecnica	γ'	c'	ϕ'	c_u	E'
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[kPa]	[MPa]
Sabbia/calcareni	Qc(a)	17.5-18.5	0	38-42	-	80-100

Dal punto di vista sismico il sottosuolo è individuato nella **categoria "C"**, come riportato nella Relazione geologica allegata al progetto esecutivo.

Per quanto riguarda la falda idrica, il livello piezometrico misurato si attesta ad una profondità compresa tra circa 15.40 m e 16.40 m dal p.c.. Per l'andamento lungo il tracciato si faccia riferimento al "Profilo geologico". Considerata la natura dei terreni e la variabilità marcatamente stagionale dei livelli idrici in progetto si assume, cautelativamente, di considerare il livello di falda medio a **15.40 m dal p.c.**

10.3 CRITERI DI CALCOLO DELLE AZIONI SISMICHE

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare i diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione.

Tutti i parametri che definiscono tale caratterizzazione dipendono dalla probabilità di superamento PVR dell'evento sismico nel periodo di riferimento VR.

I parametri sismici per gli interventi in esame fanno riferimento alle coordinate geografiche dell'area:

latitudine: 37.319618 [°]

longitudine: 15.030577 [°]

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Gli stati limite rispetto ai quali effettuare le verifiche sono:

- STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)
- SLO – Stato limite di operatività
- SLD – Stato limite di danno
- STATI LIMITE ULTIMI (SLU)
- SLV – Stato limite di salvaguardia della vita
- SLC – Stato limite di collasso

Si assume:

- classe d'uso: IV
- vita nominale: 50 anni
- categoria sottosuolo: C
- categoria topografica: T1
- periodo di riferimento: 100 anni
- coefficiente d'uso C_u : 2

Per costruzioni di classe d'uso IV le verifiche si riferiscono agli SLD, SLV ed SLO.

Per gli scopi progettuali l'azione sismica viene definita mediante forme spettrali dipendenti da tre parametri a loro volta funzione della localizzazione geografica del sito e del periodo di ritorno considerato:

a_g – Accelerazione massima orizzontale al sito

F_0 – Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T^*_c – Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Nel caso in esame risulta:

	P_{vr} [%]	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T^*_c [-]
SLO	81	60	0.0756	2.504	0.272
SLD	63	101	0.1046	2.388	0.310
SLV	10	949	0.3687	2.351	0.468
SLC	5	1950	0.5242	2.344	0.528

Dal punto di vista sismico il suolo di fondazione è classificabile come di **categoria "C"**.

L'amplificazione stratigrafica è descritta mediante i coefficienti S_S e S_T che assumono i seguenti valori per ciascuno stato limite considerato:

S_S orizzontale SLO = 1.5

S_S orizzontale SLD = 1.5

S_S orizzontale SLV = 1.18

$S_T = 1.0$ (categoria T1 - superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con pendenza < 15%)

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ ed $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad (7.11.6)$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h \quad (7.11.7)$$

Dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

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

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g \quad (7.11.8)$$

Dove:

$S=1.18$, coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ($S_s=1.07$) e dell'amplificazione topografica ($S_T=1$), di cui al § 3.2.3.2;

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (SLV).

I valori di β_s sono riportati nella Tab. 7.11.II al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Pertanto i coefficienti sismici assumono i seguenti valori:

$k_h = 0.135$, coefficiente sismico orizzontale

$k_v = 0.067$, coefficiente sismico verticale

10.4 VERIFICHE SLU TIPO GEOTECNICO (GEO) E STRUTTURALE (STR)

I calcoli per le verifiche precedentemente descritte, sono state eseguite mediante il Software Geostru GDW. Il riepilogo delle verifiche eseguite ed i dati di input assunti sono riepilogati negli schemi e nei tabulati di seguito.

Per le verifiche a scorrimento e ribaltamento, si considera a vantaggio di sicurezza la sezione di altezza maggiore, caratterizzata da una larghezza alla base di 2.00 m, una larghezza in testa di 1.00 m ed un'altezza di 3.00 m.

Si eseguono le verifiche di stabilità al ribaltamento ed allo scorrimento impiegando uno schema a muro di sostegno con spinta attiva essendo la gabbionata in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

Per il terreno a tergo della gabbionata si considera il terreno proveniente dagli scavi stessi.

La circolazione dei veicoli nelle aree adiacenti alle sponde del fosso è interdetta, pertanto non si considera alcun sovraccarico accidentale.

I calcoli per le verifiche di scorrimento ed equilibrio al ribaltamento, per entrambi gli Approcci considerati, sono riepilogati nelle tabelle di seguito, in cui si evidenzia che i fattori di sicurezza risultano superiori all'unità, pertanto le verifiche risultano soddisfatte.

Per le verifiche di collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno, si fa riferimento ai dati stratigrafici ed all'assetto geologico-tecnico presente sull'area, le cui caratteristiche sono riportate nei paragrafi precedenti.

La verifica per lo scorrimento all'interfaccia tra i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che, per una data interfaccia tra gabbione e gabbione, si verifichi lo scivolamento tra il gruppo di gabbioni che è sopra l'interfaccia ed il gruppo di gabbioni che si trova sotto l'interfaccia. La verifica viene effettuata, per ogni combinazione, per ogni strato di gabbione.

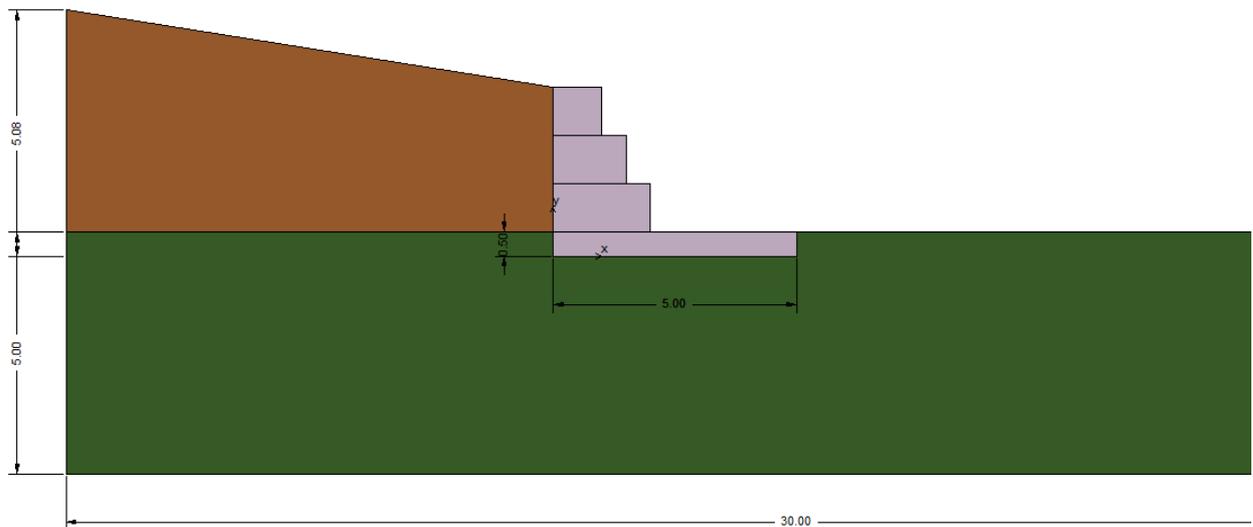
La verifica a schiacciamento del materiale che costituisce i gabbioni viene effettuata al fine di evitare che il materiale costituente i gabbioni sia sottoposto a tensioni di compressione eccessive, tali cioè da far raggiungere la crisi per rottura a compressione. Per ogni combinazione di carico e su ogni interfaccia, la verifica consiste nel soddisfare la seguente:

$$\frac{\sigma_{am}}{\sigma_n} \geq FS_{ch}$$

dove σ_{am} è la tensione ammissibile del materiale, σ_n è la tensione cui è assoggettato il materiale costituente l'opera, mentre FS_{ch} è il fattore di sicurezza a schiacciamento minimo.

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Geometria



Normativa di riferimento:

NTC 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

Forze considerate nell'equilibrio della briglia

- Peso proprio della briglia
- Spinta statica del terreno a monte (in condizione limite attiva)
- Peso del terreno gravante sulla mensola di monte
- Acqua sulla mensola di monte
- Spinta idrostatica di monte
- Spinta sismica di monte in direzione x
- Spinta sismica di monte in direzione y
- Spinta idrostatica di valle
- Spinta statica del terreno a valle
- Spinta sismica di valle in direzione x
- Spinta sismica di valle in direzione y
- Sottospinta idrostatica
- Acqua presente sulla gaveta

Ovviamente si possono considerare altri carichi (es. forze esterne applicate)

Lo schema di riferimento scelto per il calcolo delle forze è mostrato nella seguente figura:

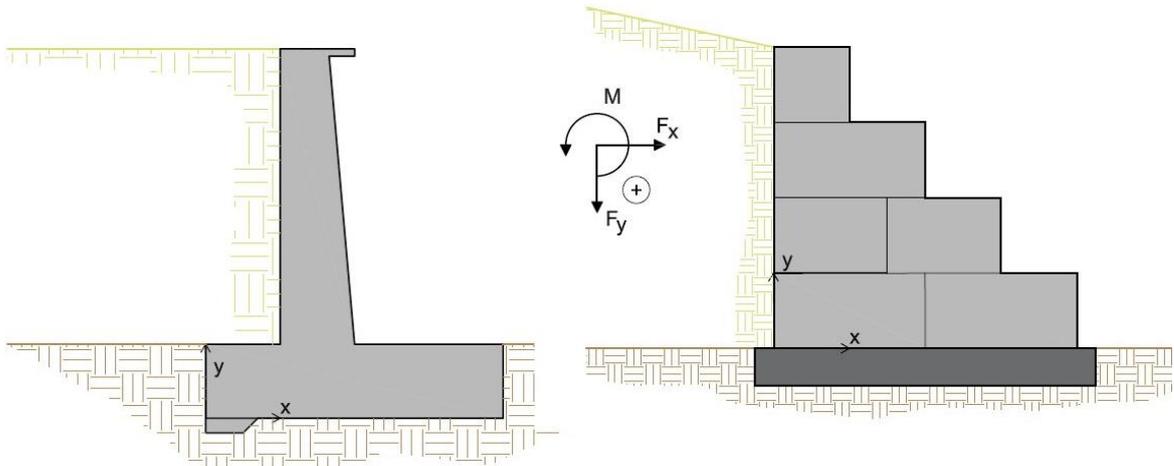


Figura 1-Riferimento e convenzione di positività

Calcolo della spinta attiva

Per il calcolo della spinta attiva è stato adottato il metodo di *Coulomb*, il quale è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dalla briglia e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura nell'ipotesi di parete ruvida.

Per terreno omogeneo ed asciutto il diagramma delle pressioni si presenta lineare con distribuzione:

$$P_t = K_a \cdot \gamma_t \cdot z$$

La spinta S_t è applicata ad $1/3 H$ di valore

$$S_t = \frac{1}{2} \gamma_t \cdot H^2 \cdot K_a$$

Avendo indicato con:

$$K_a = \frac{\sin^2(\beta - \varphi)}{\sin^2\beta \cdot \sin(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - \varepsilon)}{\sin(\beta + \delta) \cdot \sin(\beta - \varepsilon)}} \right]^2}$$

Valori limite di K_A :

$\delta < (\beta - \phi - \varepsilon)$ secondo Muller-Breslau

γ_t Peso unità di volume del terreno;

β Inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede;

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

- φ Angolo di resistenza al taglio del terreno;
- δ Angolo di attrito terra-muro;
- ε Inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, positiva se antioraria;
- H Altezza della parete.

Calcolo della spinta attiva con Mononobe & Okabe

Il calcolo della spinta attiva con il metodo di *Mononobe & Okabe* riguarda la valutazione della spinta in condizioni sismiche con il metodo pseudo-statico. Esso è basato sullo studio dell'equilibrio limite globale del sistema formato dal muro e dal prisma di terreno omogeneo retrostante l'opera e coinvolto nella rottura in una configurazione fittizia di calcolo nella quale l'angolo di inclinazione del piano campagna rispetto al piano orizzontale, e l'angolo di inclinazione della parete interna rispetto al piano orizzontale passante per il piede, vengono aumentati di una quantità θ tale che:

$$\tan\theta = \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

con k_h coefficiente sismico orizzontale e k_v verticale.

Spinta idrostatica

La falda con superficie distante H_w dalla base del muro induce delle pressioni idrostatiche normali alla parete che, alla profondità z , sono espresse come segue:

$$P_w(z) = \gamma_w \cdot z$$

Con risultante pari a:

$$S_w = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot H^2$$

La spinta del terreno immerso si ottiene sostituendo γ_t con γ'_t ($\gamma'_t = \gamma_{\text{saturo}} - \gamma_w$), peso efficace del materiale immerso in acqua.

Carico limite di fondazioni superficiali su terreni

Metodo di Vesic

Affinché la fondazione di un muro possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Dove V_D è il carico di progetto, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso del muro; mentre R_D è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Nella valutazione analitica del carico limite di progetto R_D si devono considerare le situazioni a breve e a lungo termine nei terreni a grana fine. Il carico limite di progetto in condizioni non drenate si calcola come:

$$\frac{R}{A'} \leq (2 + \pi) \cdot c_u \cdot s_c \cdot i_c + q$$

Dove:

$A' = B' L'$ area della fondazione efficace di progetto, intesa, in caso di carico eccentrico, come l'area ridotta al cui centro viene applicata la risultante del carico.

- c_u coesione non drenata
 q pressione litostatica totale sul piano di posa
 s_c fattore di forma

$$s_c = 0.2 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad \text{per fondazioni rettangolari, il valore di } s_c \text{ viene assunto pari ad 1 per fondazioni}$$

nastriformi

i_c Fattore correttivo per l'inclinazione del carico dovuta ad un carico H.

$$i_c = 1 - \frac{2H}{A_f \cdot c_a \cdot N_c}$$

A_f area efficace della fondazione

c_a aderenza alla base, pari alla coesione o ad una sua frazione.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$\frac{R}{A'} \leq c' N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma' B' N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma$$

Dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \phi'$$

Fattori di forma

RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \cdot \tan\phi' \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{B'}{L'} \right) \text{ per forma rettangolare}$$

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \text{ per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

Fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a B'

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\phi'} \right)^m$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f \cdot c_a \cot\phi'} \right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \cdot \tan\phi'}$$

$$m = \frac{2 + B'/L'}{1 + B'/L'}$$

DATI GENERALI:

Fattore di sicurezza a ribaltamento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a scorrimento	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico limite	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. orizzontale micropali	1,00 [-]
Fattore di sicurezza a Carico lim. verticale micropali	1,00 [-]

GEOMETRIA BRIGLIA IN GABBIONI:

Nome	TIPI				Peso[KN/m³]
	B[m]	H[m]	L[m]		
Gabbione_1	2,00	1,00	10,00		20,00
Gabbione_2	1,50	1,00	10,00		20,00
Gabbione_3	5,00	0,50	10,00		20,00
Gabbione_4	1,00	1,00	10,00		20,00

STRATI:

ID	Tipo	d[m]	nr
1	Gabbione_3	0,00	1
2	Gabbione_1	0,00	1
3	Gabbione_2	0,00	1
4	Gabbione_4	0,00	1

Altezza fondazione	0,00 [m]
Base fondazione	0,00 [m]
Inclinazione profilo di monte	9,00 [°]
Inclinazione paramento monte	0,00 [°]

STRATIGRAFIA :

Nome	Peso [KN/m³]	Peso saturo [KN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [KN/m²]	Attrito terra muro [°]	Adesione [KN/m²]
Qc	17,50	18,50	40,00	0,00	30,00	5,00

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Qc	17,50	18,50	40,00	0,00	30,00	5,00
----	-------	-------	-------	------	-------	------

PARAMETRI SISMA:

Coefficiente sismico orizzontale - Kh	0,14 [-]
Coefficiente sismico orizzontale - Kv	0,07 [-]
Posizione incremento sismico - Xs/h	0,00 [-]

VERIFICHE GLOBALI:

Numero di combinazioni analizzate	4
-----------------------------------	---

Combinazione 1 - (A1+M1+R1)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,22 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,332 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,112 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	140,00	0,00	1,41	1,23
Spinta terreno monte	20,40	11,78	0,00	0,00	1,18
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	7,84	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 2 - (A2+M2+R2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	140,00	0,00	1,41	1,23
Spinta terreno monte	26,59	15,35	0,00	0,00	1,18
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 3 - (EQU+M2)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
------	--------------	--------------	--------------	----------	----------

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Peso muro	0,00	126,00	0,00	1,41	1,23
Spinta terreno monte	26,59	15,35	0,00	0,00	1,18
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	9,83	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione 4 - (Sismica)

Coefficiente di spinta attiva statica	0,286 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,427 [-]
Coefficiente di spinta attiva dinamica	0,14 [-]

Nome	Fx [kN/m]	Fy [kN/m]	M [kNm/m]	x [m]	y [m]
Peso muro	0,00	140,00	0,00	1,41	1,23
Spinta terreno monte	26,59	15,35	0,00	0,00	1,18
Peso terreno mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua mensola	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica monte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte X	9,83	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta Sismica monte Y	0,00	5,67	0,00	0,00	0,00
Spinta idrostatica valle	-1,25	0,00	0,00	0,00	0,17
Spinta terreno valle	-26,55	15,33	0,00	0,00	0,17
Spinta sismica valle X	1,74	0,00	0,00	0,00	0,00
Spinta sismica valle Y	0,00	-1,00	0,00	5,00	0,00
Sottospinta idrostatica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acqua gaveta	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00

Combinazione	Momento stabilizzante [kNm/m]	Momento ribaltante [kNm/m]	Forze resistenti [kN/m]	Forze sollecitanti [kN/m]	Carico limite [kN/m ²]	Carico esercizio [kN/m ²]
1	561,40	24,01	112,63	28,24	2831,75 Nq=64,2 Ng=109,41 Nc=75,31 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,66 ic=0,66 ig=0,54	74,02
2	660,52	31,29	151,34	26,59	1798,32 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,99 ic=0,99 ig=0,98	89,14
3	610,27	31,29	143,26	36,42	1580,43 Nq=28,99 Ng=40,26	82,68

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

					Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,89 ic=0,89 ig=0,84	
4	688,90	31,29	154,04	38,15	1542,52 Nq=28,99 Ng=40,26 Nc=41,69 sq=1 sc=1 sg=1 iq=0,89 ic=0,88 ig=0,83	94,08

Combinazione	Fs ribaltamento [-]	Fs scorrimento [-]	Fs carico limite [-]	Fs Scorrimento interno [-]	Fs Schiacciamento interno [-]
1	23,38	3,99	38,25	6483,06	1,29
2	21,11	5,69	20,17	2703,32	1,30
3	19,51	3,93	19,11	4784,35	1,45
4	22,02	4,04	16,40	4785,59	1,30

Combinazione	Ribaltamento	Scorrimento	Carico limite	Scorrimento interno	Schiacciamento interno
1	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
2	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
3	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
4	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

10.5 VERIFICA DI STABILITA' GLOBALE

La verifica di stabilità globale del muro di sostegno con gabbionate è stata condotta, a vantaggio di sicurezza, per la sezione del muro di altezza massima pari a 3.00 m.

Le verifiche di stabilità sono eseguite in condizioni sismiche (SLV), essendo questa condizione più gravosa rispetto alla verifica in condizioni statiche, considerando i valori caratteristici dei parametri di resistenza del terreno (c_k , ϕ_k), secondo quanto disposto ai p.ti C6.3.4 e 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ed adottando i valori unitari dei coefficienti parziali dei gruppi A ed M per il calcolo delle azioni, impiegando un fattore parziale di sicurezza per la verifica pari a 1.2.

La verifica di stabilità globale è stata eseguita mediante il software GEOSTRU SLOPE. Il Fattore di sicurezza minimo risulta pari a **FS=1.71**, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

I tabulati di calcolo e verifica sono riportati di seguito.

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

=====	
Calcolo eseguito secondo	NTC 2008 & Circ.
Numero di strati	2,0
Numero dei conci	20,0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1,2
Coefficiente parziale resistenza	1,0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Superficie di forma circolare
=====

Maglia dei Centri
=====

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	5,0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	4,0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	10,0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	9,0 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0
=====	
Coefficiente azione sismica orizzontale	0,135
Coefficiente azione sismica verticale	0,067

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0,0	0,5
2	8,0	0,5
3	10,0	3,5
4	15,0	3,5

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0,0	0,0
2	8,0	0,0
3	10,0	0,0
4	15,0	0,0

Coefficienti parziali azioni
=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1,0 1,0
=====	

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno
=====

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No
=====	

Stratigrafia

**RELAZIONE DI CALCOLO GABBIONATE
ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI**

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0		40	1750	1850		
2	0		40	1750	1850		

Risultati analisi pendio [NTC 2008 & Circ.]

Fs minimo individuato	1,71
Ascissa centro superficie	7,5 m
Ordinata centro superficie	7,0 m
Raggio superficie	7,52 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 7,50 yc = 7,00 Rc = 7,517 Fs=1,708

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0,52	-27,9	0,59	131,99	17,82	8,84	0,0	40,0	0,0	201,9	99,2
2	0,52	-23,5	0,57	360,78	48,71	24,17	0,0	40,0	0,0	500,2	245,7
3	0,52	-19,2	0,55	546,68	73,8	36,63	0,0	40,0	0,0	698,6	343,2
4	0,52	-15,1	0,54	693,29	93,59	46,45	0,0	40,0	0,0	827,2	406,4
5	0,52	-11,0	0,53	803,2	108,43	53,81	0,0	40,0	0,0	904,3	444,3
6	0,52	-6,9	0,53	878,16	118,55	58,84	0,0	40,0	0,0	941,0	462,3
7	0,52	-3,0	0,52	919,33	124,11	61,6	0,0	40,0	0,0	944,5	464,0
8	0,52	1,0	0,52	927,32	125,19	62,13	0,0	40,0	0,0	919,4	451,7
9	0,52	5,0	0,52	1115,87	150,64	74,76	0,0	40,0	0,0	1073,9	527,6
10	0,52	9,0	0,53	1771,17	239,11	118,67	0,0	40,0	0,0	1663,6	817,3
11	0,52	13,1	0,54	2392,15	322,94	160,27	0,0	40,0	0,0	2204,3	1083,0
12	0,54	17,3	0,57	3095,36	417,87	207,39	0,0	40,0	0,0	2812,0	1381,5
13	0,5	21,5	0,54	3075,04	415,13	206,03	0,0	40,0	0,0	2769,2	1360,5
14	0,52	25,7	0,58	2985,98	403,11	200,06	0,0	40,0	0,0	2680,1	1316,7
15	0,52	30,3	0,6	2733,18	368,98	183,12	0,0	40,0	0,0	2459,4	1208,3
16	0,52	35,0	0,64	2428,97	327,91	162,74	0,0	40,0	0,0	2206,2	1083,9
17	0,52	40,0	0,68	2064,45	278,7	138,32	0,0	40,0	0,0	1908,3	937,5
18	0,52	45,4	0,74	1625,94	219,5	108,94	0,0	40,0	0,0	1545,9	759,5
19	0,52	51,5	0,84	1090,79	147,26	73,08	0,0	40,0	0,0	1082,8	532,0