



REGIONE SICILIA
ASSESSORATO REGIONALE ALL'ENERGIA E DEI SERVIZI DI PUBBLICA UTILITA'
Dipartimento Regionale dell'Acqua e dei Rifiuti

MESSA IN SICUREZZA DEL SITO MINERARIO DISMESSO DI PASQUASIA IN TERRITORIO DEL COMUNE DI ENNA

CUP: G71J16000000003

PROGETTO ESECUTIVO

Il Progettista
Dr.Agr. Lucio FERRIGNO

Visto: il Responsabile del procedimento
ing. Vito Cangemi



**N.
ELAB.**

**TITOLO
ELABORATO:**

A6

RELAZIONE VERIFICA GABBIONATA

CODICE ELABORATO:

07_PASQ.PE.01.ER.A6_00

Tav. lavoro fase lotto tipo doc. n.ro elab. Rev.

C	TERZA EMISSIONE				
B	SECONDA EMISSIONE				
A	PRIMA EMISSIONE				
00	PRIMA STESURA	22.02.2021			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

MURI DI SOSTEGNO IN GABBIONI

I muri in gabbioni sono un particolare tipo di opere di sostegno a gravità a struttura modulare, realizzati mediante l'assemblaggio di elementi parallelepipedi in rete metallica (gabbioni) riempiti con pietrame direttamente in cantiere. I gabbioni sono formati da teli di rete di acciaio a maglia esagonale a doppia torsione (Figura 1) e hanno di solito una larghezza di 1,00 m ed un'altezza di 0,50 m o 1,00 m; la lunghezza invece è variabile da 1,50 a 4,00 m (vedi Tabella 1). Essi possono eventualmente essere divisi all'interno da diaframmi, anch'essi in rete metallica a doppia torsione (Figura 1-b). La maglia della rete può avere dimensioni 6x8, 8x10 o 10x12 cm e può essere tessuta con filo di diametro compreso tra 2,0 e 3,4 mm; ogni telo di rete presenta inoltre una bordatura perimetrale realizzata con filo di diametro maggiore di quello dei fili interni. La doppia torsione dei fili impedisce il rapido propagarsi di smagliature in seguito alla rottura accidentale di un filo, come verificato sperimentalmente. Difatti in una rete a doppia torsione con un filo tagliato il carico di rottura a trazione è solo di poco inferiore a quello della rete integra, mentre per una rete a semplice torsione è pari a solo il 65 % di quello della rete integra. Nelle prove a punzonamento la rete a doppia torsione con un filo tagliato ha un carico ultimo pari all'88 % di quello della rete integra, mentre la rete a semplice torsione con un filo tagliato ha un carico ultimo pari a solo il 25 % di quello della rete integra. La rete può essere semplicemente zincata o anche plasticata, ossia oltre ad essere zincata essa è rivestita per estrusione con uno speciale materiale PVC, che avendo una elevata resistenza alla corrosione aumenta la durabilità dei gabbioni. L'utilizzo di reti rivestite in PVC è consigliabile in presenza di ambienti molto aggressivi.

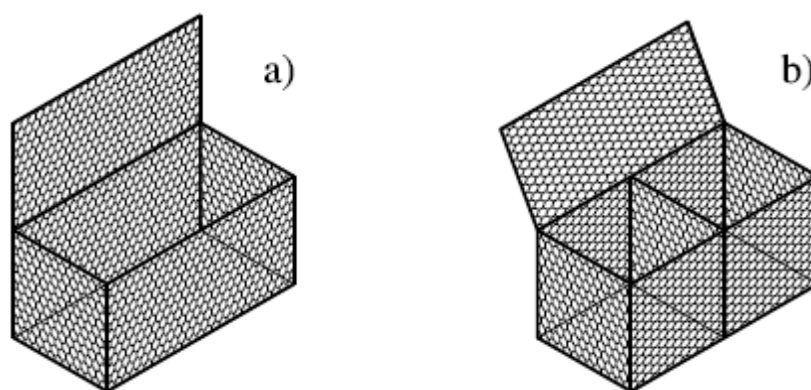


Figura 1. Tipi di gabbioni: a) senza diaframma, b) con diaframma interno.

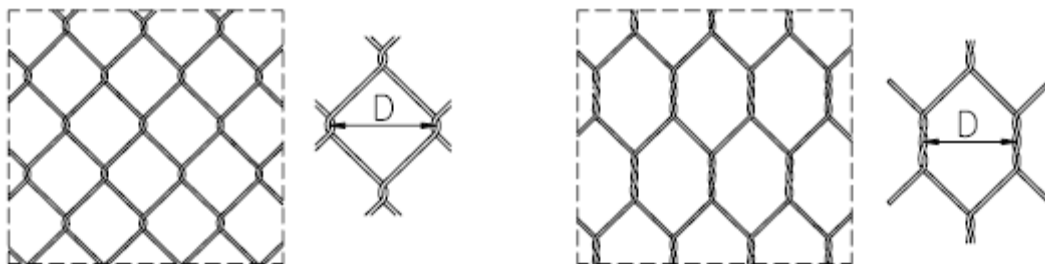


Figura 2. Rete metallica a semplice (a sinistra) e a doppia torsione (a destra)

Tabella 1. Dimensioni correnti dei gabbioni.

Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Altezza (m)	Volume (mc)	Numero di diaframmi
1,50	1,00	0,50 1,00	0,75 1,50	0
2,00	1,00	0,50 1,00	1,25 2,50	1
3,00	1,00	0,50 1,00	1,50 3,00	2
4,00	1,00	0,50 1,00	2,00 4,00	3

Per garantire il buon comportamento strutturale dei muri in gabbioni è necessaria un'accurata esecuzione del riempimento in pietrame ed è preferibile disporre i singoli elementi affinché la rete metallica sia distribuita in modo omogeneo all'interno dell'opera. Ad esempio per limitare la deformazione a taglio è opportuno aumentare il più possibile il numero di teli metallici verticali in direzione trasversale (ossia nella direzione della spinta), pertanto è preferibile disporre i gabbioni con il lato più lungo nella direzione della spinta. Nella parte inferiore dei muri di altezza superiore a 4÷5 m, dove sono massimi sia lo sforzo di compressione sia quello di taglio, è preferibile utilizzare gabbioni dello spessore di 0,50 m anziché di 1,00 m per avere un maggior numero di teli metallici orizzontali.

Caratteristiche meccaniche della rete a doppia torsione e del sistema rete – pietrame di riempimento

Il progetto di un muro in gabbioni si esegue allo stesso modo di un muro a gravità di calcestruzzo o muratura, tuttavia la sua particolare struttura modulare con n strati di gabbioni richiede che le verifiche di stabilità vengano eseguite sia con riferimento all'intero muro, sia considerando le $(n-1)$ porzioni che si ottengono considerando per ciascuno strato solo gli strati soprastanti (Figura 6).

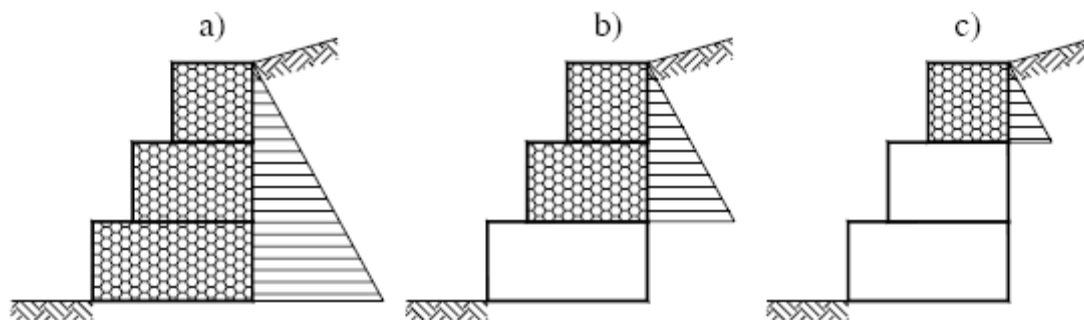


Figura 6. Diagrammi schematici di spinta attiva sulle varie porzioni di muro da verificare.

Nel verificare la stabilità delle parti di muro rappresentate in Figura 6-b e Figura 6-c occorrerà considerare la resistenza di attrito, la resistenza a taglio e quella a compressione del sistema rete-pietrame di riempimento all'interfaccia tra uno strato ed il sottostante. È pertanto necessario conoscere le caratteristiche meccaniche della rete e del pietrame di riempimento. Le caratteristiche meccaniche della rete metallica a doppia torsione, ossia i parametri di deformabilità e di resistenza, sono state determinate sperimentalmente mediante prove su singoli teli di rete. Sono stati ottenuti valori del carico di rottura per unità di lunghezza compresi tra 3500 e 4700 kg/m, con il valore più piccolo relativo alla rete a maglia 10x12 cm e filo di 2,7 mm di diametro e quello massimo per la rete a maglia 6x8 cm e filo di 2,7 mm. Il comportamento complessivo del gabbione, cioè del sistema rete metallica - pietrame di riempimento, è stato invece investigato mediante l'esecuzione di prove a compressione semplice e a taglio sia su singoli gabbioni sia su muri. Le prove a compressione hanno evidenziato che queste strutture sono molto duttili, difatti subiscono deformazioni rilevanti anche del 40 ÷ 50 % prima di giungere a rottura, che avviene per tensioni dell'ordine di 30 – 40 kg/cm². La duttilità è legata essenzialmente a quella della rete metallica a doppia torsione, che subisce forti allungamenti prima di rompersi. Dalle prove a taglio è emersa un'elevata resistenza a taglio e valori del modulo di elasticità tangenziale dell'ordine di 2,5 – 4 kg/cm². La spinta del terreno Per il calcolo della spinta del terreno si ricorre di solito al metodo di Coulomb, basato sull'equilibrio di un ammasso indeformabile di terreno, noto come cuneo di spinta, già descritto nel capitolo dedicato allo studio dei muri a retta di c.a. Qui si ricorda solo che per i muri in gabbioni l'angolo di attrito terreno-muro (δ) è assunto in genere uguale all'angolo di attrito del terreno.

Verifiche di stabilità

Di seguito si riportano le verifiche di stabilità dei muri in gabbioni.

Verifica allo scorrimento

La verifica allo scorrimento di un muro in gabbioni si esegue con riferimento ad un piano di scorrimento orizzontale, anche nel caso in cui il muro presenti un'inclinazione a reggipoggio, che di solito è pari a 6° . Come per le altre opere a gravità e per i muri a retta di c.a., la verifica consiste nel controllare che il coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la forza stabilizzante totale F_{stab} e la componente F_{scor} della spinta sul piano di scorrimento orizzontale, sia maggiore di 1,3:

$$\eta_{scor} = \frac{F_{stab}}{F_{scor}} \geq 1,3.$$

La spinta si calcola come visto per i muri a retta e a gravità con il metodo di Coulomb; nel caso in cui l'opera abbia un'altezza superiore ai 3,00 m e si trovi in zona classificata sismica occorre considerare anche l'incremento di spinta in condizioni sismiche. La forza stabilizzante che si oppone allo scorrimento è la somma delle seguenti forze:

- forza di attrito F_{s1} ,
- forza di coesione F_{s2} ,
- spinta passiva a valle del piede del muro F_{s3} ,
- la forza di ancoraggio fornita dall'eventuale sbalzo della fondazione a tergo del muro F_{s4} .

La forza di attrito è data dal prodotto dello sforzo normale N alla base del muro per il coefficiente di attrito f , che per i gabbioni si può assumere pari alla tangente dell'angolo di attrito del terreno ($f = 0,64$ in presenza di un sottofondo di calcestruzzo):

$$F_{s1} = fN = \tan \varphi \cdot N$$

Lo sforzo N è dato dalla somma di tutti i carichi verticali che agiscono sul piano di scorrimento. In sicurezza è bene non considerare il contributo stabilizzante di eventuali sovraccarichi sul terrapieno. La forza di coesione è pari alla coesione c del terreno di fondazione per la proiezione orizzontale B della larghezza della fondazione:

$$F_{s2} = cB.$$

Occorre ricordare che quando la fondazione presenta uno sbalzo a monte, dovrà considerarsi solo il contributo del terreno sulla porzione di sbalzo pari allo spessore della fondazione, mentre la parte eccedente potrà essere considerata per la valutazione di una forza di ancoraggio F_{s4} .

La forza F_{s3} assume la seguente espressione:

$$F_{s3} = S_p \cos \delta = \frac{1}{2} K_{p,rid} \gamma h^2 \cos \varphi$$

essendo per i gabbioni $\delta = \varphi$ (di solito la forza F_{s3} viene trascurata).

La forza di ancoraggio F_{s4} è pari al minore tra lo sforzo che può essere sopportato dalla rete metallica della base e del coperchio dei gabbioni e la resistenza di attrito prodotta dal peso del terreno che grava su questa porzione di fondazione.

Verifica al ribaltamento

La verifica al ribaltamento consiste nel controllare che per effetto della componente orizzontale della spinta non si verifichi la rotazione del muro in gabbioni, pensato come un corpo rigido, intorno al lembo esterno della fondazione. All'azione ribaltante della spinta si oppongono i carichi verticali agenti sul muro in gabbioni, che producono un momento stabilizzante di segno opposto. Questi carichi sono il peso proprio del muro, il peso del terreno gravante sul muro e la componente verticale S_{av} della spinta. Il momento ribaltante è pari a:

$$M_{rib} = S_{ah} \cdot d,$$

mentre quello stabilizzante è dato dalla seguente espressione:

$$M_s = W \cdot s' + W_t \cdot b + S_{av} \cdot s$$

dove

W = peso del muro in gabbioni,

W_t = peso del terreno “inscatolato” più l'eventuale sovraccarico,

S_{av} = componente verticale della spinta.

Il coefficiente di sicurezza al ribaltamento deve risultare maggiore di 1,5:

$$\eta_r = \frac{M_s}{M_{rib}} \geq 1,5.$$

Verifica delle pressioni sul terreno

La verifica delle pressioni sul terreno si esegue confrontando la massima pressione di contatto trasmessa dal muro in gabbioni con la pressione ammissibile. Quest'ultima può essere determinata utilizzando la formula di Hansen, noti i parametri geotecnici del terreno di fondazione. Siano N ed M rispettivamente lo sforzo normale ed il momento flettente agenti alla base del muro in gabbioni, sia $e=M/N$ l'eccentricità e B la larghezza della fondazione.

Se $e \leq B/6$, la sezione di base è interamente compressa e la tensione massima e minima valgono:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = \frac{N}{B} + \frac{M}{B^2/6} = \frac{N}{B} \left(1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right),$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B} \right),$$

se invece $e > B/6$ allora la sezione non è interamente reagente e il diagramma delle pressioni di contatto si riduce ad un triangolo di base pari a 3 volte la distanza u del centro di pressione dal lembo della fondazione; la tensione massima è data in questo caso dalla seguente espressione:

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3u} = \frac{2N}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)}.$$

Le espressioni sopra scritte sono valide nell'ipotesi di conservazione delle sezioni piane, ossia se la base del muro in gabbioni si conserva piana. In realtà questo si verifica solo se il muro è dotato di una fondazione rigida, ad esempio di calcestruzzo, altrimenti l'eccessiva deformabilità dei gabbioni non consente l'adozione di queste espressioni. Si ipotizza allora una distribuzione costante sul tratto di fondazione di larghezza $2u$, dove $u = B/2 - e$, essendo e l'eccentricità del carico. In questa ipotesi la pressione massima di contatto sul terreno assume la seguente espressione:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{2u} = \frac{N}{2 \cdot \left(\frac{B}{2} - e\right)} = \frac{N}{B - 2e}.$$

La capacità portante $q_{\lim}$ può essere calcolata con la formula di Hansen; dividendo $q_{\lim}$ per il coefficiente di sicurezza ($F_s = 3$)¹ si ottiene la pressione ammissibile:

$$q_{adm} = \frac{q_{\lim}}{3}.$$

¹ Il coefficiente di sicurezza F_s per la verifica al carico limite dell'insieme fondazione-terreno non deve risultare minore di 2, secondo quanto indicato al punto D.4.4. del D.M. 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Verifica di stabilità globale

La crisi del muro in gabbioni può manifestarsi per instabilità totale del sistema muro + terreno, che si verifica con lo scivolamento lungo una superficie curvilinea per la quale risulta minimo il coefficiente di sicurezza allo scorrimento di insieme del sistema. Per i dettagli si rimanda ai testi di geotecnica; qui si ricorda che il coefficiente di sicurezza allo scorrimento deve essere pari ad almeno 1,3 secondo quanto indicato al p.to D.4.5. del D.M. 11.03.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

Elenco delle fasi di realizzazione dei muri in gabbioni

- Scotico
- Posizionamento dei gabbioni e fissaggio con eventuali picchetti
- Riempimento
- Chiusura
- Riempimento