

# COMUNE DI FERMO

Provincia di Fermo



PROGETTO DI AMPLIAMENTO (240.500 mc) MEDIANTE  
SORMONTO DELLA DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI,  
SITA NEL COMUNE DI FERMO, LOCALITA' SAN BIAGIO,  
ALL'INTERNO DEL CENTRO INTEGRATO DI GESTIONE RIFIUTI  
URBANI (CIGRU)

Procedura di V.I.A ai sensi dell'art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.s. e art. 12 della L.R. 3/2012  
A.I.A. ai sensi dell'art. 29 ter del D.Lgs 152/2006 e s.m.i.

Committente: Fermo A.s.i.t.e. surl



## OPERA DI SOSTEGNO IN GABBIONI

Sezione A

Allegato 1L

GRUPPO DI LAVORO:  
geologi Massimo Basili  
Fabio Del Moro  
Diana Talamonti  
ingegnere Diego Santandrea  
geometra Stefano Antognozzi

IL TECNICO INCARICATO:

Dr. Massimo Basili  
geologo



Porto Sant'Elpidio, Aprile 2018

Studio Geologico Ambientale via Fratte, 73 63821 Porto Sant'Elpidio (FM) tel 0734.992797  
e-mail: [info@studiogeologiabasili.it](mailto:info@studiogeologiabasili.it) pec: [basili.geologo@epap.sicurezza postale.it](mailto:basili.geologo@epap.sicurezza postale.it)

OPERA DELL'INGEGNO. RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE CONSENTITA SOLO PREVIA AUTORIZZAZIONE SCRITTA ART.99 L. 633/41

**COMUNE DI FERMO**  
**(PROVINCIA DI FERMO)**

**" PROGETTO DI AMPLIAMENTO (240.500 mc) MEDIANTE SORMONTO DELLA DISCARICA PER  
RIFIUTI NON PERICOLOSI, SITA IN COMUNE DI FERMO, LOCALITÀ SAN BIAGIO, ALL'INTERNO  
DEL CENTRO INTEGRATO DI GESTIONE DEI RIFIUTI URBANI (CIGRU)"**

Committente: *società FERMO ASITE s.u.r.l.*

**COSTRUZIONE OPERA DI SOSTEGNO IN GABBIONI**

RELAZIONE TECNICA  
RELAZIONE DEI MATERIALI  
PIANO DI MANUTENZIONE  
RELAZIONE DI CALCOLO

**INDICE**

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | PREMESSA  | 1  |
| 2 | DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA DI UN MURO DI SOSTEGNO IN GABBIONI | 2  |
| 3 | NORMATIVA DI RIFERIMENTO  | 3  |
| 4 | DESCRIZIONE DELL'OPERA IN OGGETTO                               | 3  |
| 5 | MATERIALI IMPIEGATI   | 5  |
| 6 | REALIZZAZIONE DEL MURO IN GABBIONI                              | 8  |
| 7 | DIMENSIONAMENTO E CALCOLO                                       | 11 |
| 8 | PIANO DI CONTROLLO E MANUTENZIONE DELL'OPERA                    | 28 |
| 9 | VERIFICHE DELLA OPERE IN PROGETTO                               | 29 |

La presente relazione è composta da 41 pagine e dai seguenti allegati:

*Allegati:*  
*Vedi tavola di progetto specifica*

## 1 PREMESSA

Il presente documento si riferisce al progetto esecutivo relativo alla realizzazione di un'opera di sostegno in gabbioni avente la funzione di argine nell'ambito del **“Progetto di progetto di ampliamento (240.500 mc) mediante sormonto della discarica per rifiuti non pericolosi, sita in comune di Fermo, località San Biagio, all'interno del centro integrato di gestione dei rifiuti urbani**

## 2. DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA DI UN MURO DI SOSTEGNO IN GABBIONI

I muri di sostegno a gravità sono strutture frequentemente usate nel sostegno dei terreni in diversi tipi di applicazioni (costruzione di strade, difese di sponda di corsi d'acqua, opere di difesa e conservazione del suolo, nel caso specifico rifiuti, spalle di ponti, etc.). Un muro di sostegno a gravità consiste in una struttura relativamente solida e rigida che in virtù del proprio peso sostiene il materiale a tergo.

I muri di sostegno in gabbioni seguono questo principio e sono composti di elementi di forma scatolare di rete metallica riempiti con pietrame, legati tra di loro, affiancati e sovrapposti in modo da formare un'unica struttura monolitica (figura 1.1).

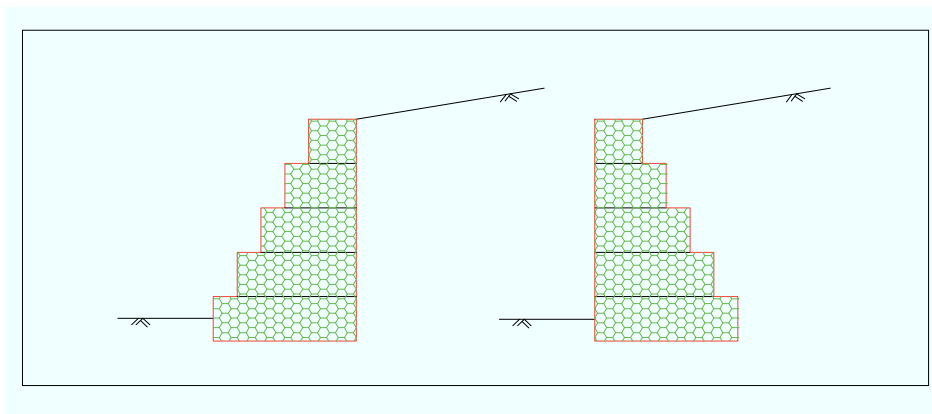


figura 1.1 - Muro a gravità in gabbioni

Il materiale terroso a tergo dell'opera può essere collocato contemporaneamente alla costruzione dei vari ordini della gabbionata. Quest'ultimo, insieme agli eventuali sovraccarichi esterni applicati a monte dell'opera, costituisce il carico applicato sul muro. L'opera pertanto dovrà essere dimensionata in modo tale da sopportare questi carichi senza che si manifestino rotture o deformazioni rilevanti della struttura, o cedimenti del terreno sia a tergo, sia in fondazione. La verifica della struttura consiste pertanto nel determinare le azioni agenti (spinte), e successivamente verificare la sicurezza nei confronti dei diversi tipi di rottura a cui può essere soggetta l'opera.

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

1. Nuove Norme tecniche sulle Costruzioni Approvate con D.Min. 17/01/2018
2. Circolare al D.M. del 14/01/2008
3. Eurocodice 7 “Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali”, aprile 1997.
4. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 1: Regole generali - azioni sismiche e requisiti generali per le strutture”, ottobre 1997.
5. Eurocodice 8 “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”, febbraio 1998.
6. UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre
7. UNI EN 13242 - Aggregati per materiali non legati e legati con leganti idraulici per l'impiego in opere di ingegneria civile e nella costruzione di strade
8. UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche
9. UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

### 4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Il presente documento riguarda il dimensionamento per la realizzazione di una struttura di sostegno in gabbioni nell'ambito del progetto esecutivo di cui all'oggetto. L'opera di sostegno progettata è del tipo a gabbioni metallici riempiti con pietrame di opportune dimensioni. Tale sistema costruttivo è di tipo modulare e parzialmente prefabbricabile e, quindi, garantisce semplicità e rapidità di esecuzione

In particolare la struttura in progetto, verrà ubicata così come riportato nella planimetria di progetto strutturale al piede dell'area di intervento e avrà la funzione di sostegno del corpo costituito in parte da rifiuti ed in parte da terreno (capping) in sopraelevazione previsto dal progetto. L'opera avrà un'estensione lineare di **mt. 257** una larghezza costante di 2.0 mt., un'altezza costante di 3.0 mt ed una conformazione a tre gradoni realizzata attraverso la sovrapposizione di elementi di modulari. In particolare l'opera, le cui specifiche tecniche e particolari costruttivi sono riportati nella tavola “Particolari costruttivi gabbionata” è composta da 3 ordini di elementi sovrapposti in verticale della lunghezza di L=2 mt e altezza H=1.0 mt. al I° e III° livello e della lunghezza di L=1.5 mt al II° livello così disposti:

n°1 elementi alla base della lunghezza di 2.0 mt. e altezza di 1.0 mt.

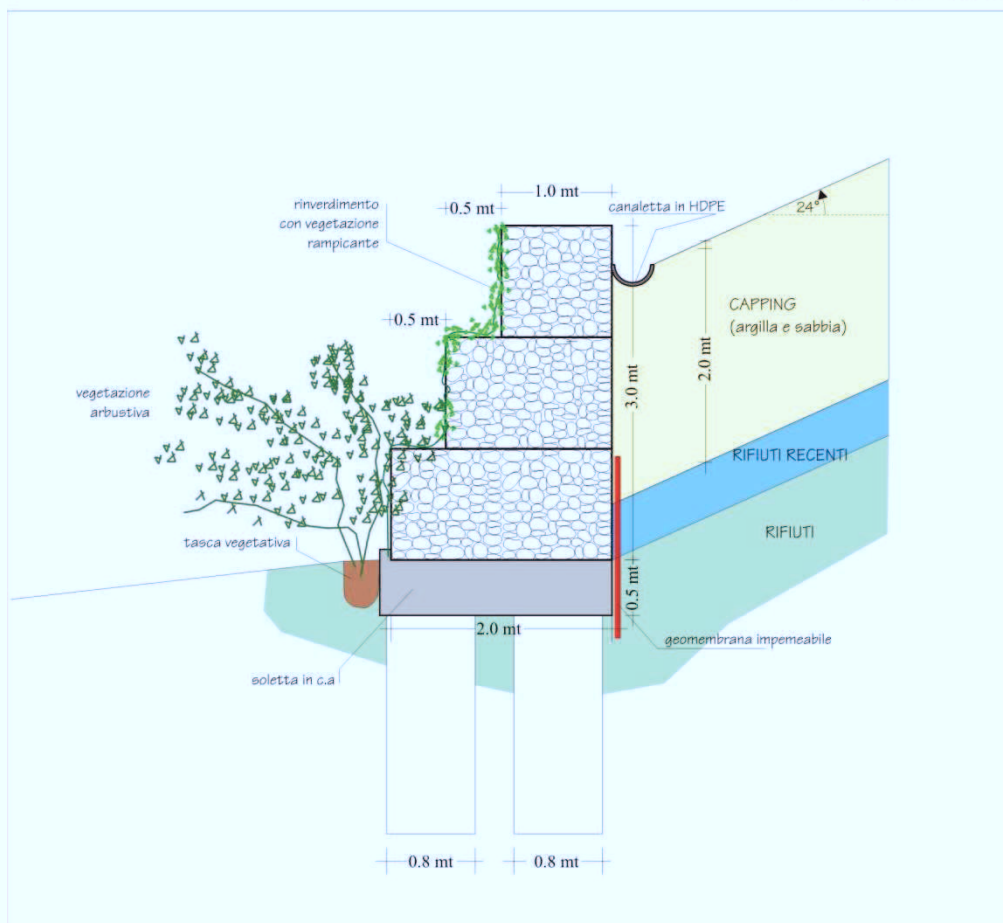
n°1 elemento della lunghezza di 1.5 mt. e altezza di 1.0 mt. al secondo livello

n°1 elemento disposto perpendicolarmente ai sottostanti simile a quello ubicato alla base (lunghezza 2.0 mt e altezza 1.0 mt).

A tergo della stessa, per un'altezza di 1.0 mt a partire dalla base, verrà posizionata una guaina in HDPE impermeabile per il contenimento del percolato prodotto nel corpo di rifiuti in progetto, unitamente, a termine dalla realizzazione del capping di copertura a fine coltivazione, ad una canaletta superficiale dalla forma semicircolare per la raccolta e l'allontanamento delle acque di scorrimento superficiale. Il progetto inoltre prevede, sempre per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche, la realizzazione di

un'opera di attraversamento in c.a. avente la funzione di by-passare l'opera in gabbioni in esame, opera che viene descritta nei particolari nel progetto strutturale della fondazione in c.a. a firma dell'ing. Santandrea. Infatti l'opera in gabbioni verrà posizionata al di sopra di una soletta in c.a. alta 0.5 mt. ancorata all'interno del corpo di rifiuti attraverso una fondazione su pali trivellati di grosso diametro (80 cm) disposti a quinconce con interasse di 2.5 mt, aventi sul lato di valle una lunghezza di 14 mt, mentre sul lato monte i pali saranno profondi 10 mt. La parte a vista fuoriterra dell'opera a gabbioni, al fine di ridurre al minimo l'impatto visivo dell'opera durante la fase operativa, verrà rinverdata attraverso la messa a dimora di vegetazione arbustive unitamente a vegetazione rampicante, per tutto lo sviluppo complessivo della struttura.

SEZIONE TIPO



## **5 MATERIALI IMPIEGATI**

### **5.1 Gabbioni**

Gabbioni in rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8x10 in accordo con le UNI-EN 10223-3, tessuta con trafilato di ferro, conforme alle UNI-EN 10223-3 per le caratteristiche meccaniche e UNI-EN 10218 per le tolleranze sui diametri, avente carico di rottura compreso fra 350 e 500 N/mm<sup>2</sup> e allungamento minimo pari al 10%, avente un diametro pari 2.70 mm, galvanizzato con lega eutettica di Zinco - Alluminio (5%) - Cerio - Lantanio conforme alla EN 10244 – Classe A con un quantitativo non inferiore a 245 g/mq. L'adesione della galvanizzazione al filo dovrà essere tale da garantire che avvolgendo il filo sei volte attorno ad un mandrino avente diametro quattro volte maggiore, il rivestimento non si crepa e non si sfalda sfregandolo con le dita. La galvanizzazione inoltre dovrà superare un test di invecchiamento accelerato in ambiente contenente anidride solforosa (SO<sub>2</sub>) secondo la normativa UNI ISO EN 6988 (KESTERNICH TEST) per un minimo di 28 cicli. Gli scatolari metallici saranno assemblati utilizzando sia per le cuciture sia per i tiranti un filo con le stesse caratteristiche di quello usato per la fabbricazione della rete ed avente diametro pari a 2.20 e quantitativo di galvanizzazione sul filo non inferiore a 230 g/mq; l'operazione sarà compiuta in modo da realizzare una struttura monolitica e continua. Nel caso di utilizzo di punti metallici meccanizzati per le operazioni di legatura, questi saranno con diametro 3,00 mm e carico di rottura minimo pari a 1700 kN/mm<sup>2</sup>. Prima della messa in opera e per ogni partita ricevuta in cantiere, l'Appaltatore dovrà consegnare alla D.L. il relativo certificato di collaudo e garanzia rilasciato in originale, in cui specifica il nome del prodotto, la Ditta produttrice, le quantità fornite e la destinazione. Tale Ditta produttrice dovrà inoltre essere in certificazione di sistema qualità in conformità alle normative in vigore, ISO-EN 9001:2000; in assenza di ciò, la D.L. darà disposizioni circa il prelievo di campioni per verificare il rispetto delle normative enunciate. Terminato l'assemblaggio degli scatolari si procederà alla sistemazione meccanica e manuale del ciottolame, che dovrà essere fornito di idonea pezzatura, né friabile né gelivo di dimensioni tali da non fuoriuscire dalla maglia della rete e da consentire il maggior costipamento possibile.

### **5.2 Pietrame**

Il pietrame da usarsi per il riempimento dei Gabbioni dovrà essere in pietrame di cava, di struttura compatta, non friabile, resistente all'acqua, non gelivo e di alto peso specifico. Il materiale di riempimento dovrà avere forma omogenea d'opportuna pezzatura che in virtù della dimensione della maglia prevista (tipo 8x10) e di 100/200 mm. Potrà essere utilizzato materiale per un massimo del 5% in peso di pezzatura superiore od inferiore che potrà essere utilizzato nella parte centrale dei gabbioni (evitando la facciata anteriore e posteriore). La pezzatura inferiore dovrà comunque avere diametro maggiore di 75mm e la pezzatura superiore dovrà comunque avere diametro inferiore a 250mm.



### 5.3 Punti metallici

I punti metallici vengono utilizzati per connettere i vari componenti e per chiudere in sicurezza i gabbioni riempiti al fine di aumentare la produttività nella fase di installazione (Fig 3). I punti, che devono attenersi alla UNI EN 10223-3, vengono forniti in scatole (1600 punti/scatola). Possono essere rivestiti, o in acciaio inossidabile, per legare reti rivestite in polimero in ambienti altamente corrosivi. Il numero indicativo dei punti è correlato alla dimensione del gabbione.

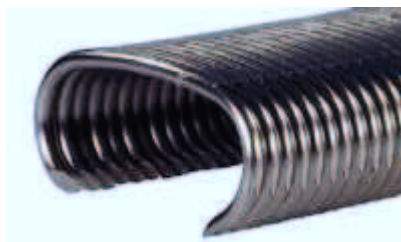


Figura 1 –punti metallici

Per assemblare e connettere tra loro i gabbioni, dovrà essere utilizzato un filo di legatura di opportune dimensioni. Per dare maggior supporto al rivestimento e per collegare il pannello frontale del gabbione si possono utilizzare, in alternativa al filo di legatura, dei tiranti preformati di sostegno da 3,4mm.



Figura 2 –filo di legatura

## 5.4 Strumenti

Per facilitare le operazioni di legatura e rinforzo si raccomanda l'utilizzo di una graffatrice pneumatica o manuale per rafforzare le chiusure. È necessario fare attenzione a non danneggiare il rivestimento del filo, i denti della graffatrice devono avere una superficie liscia. Si deve fare attenzione quando si utilizza un piede di porco per chiudere il coperchio poiché anche questa operazione potrebbe danneggiare il rivestimento polimerico. In Figura 3 vengono riportati gli strumenti utilizzati per i punti di chiusura: graffatrice pneumatica (collegata ad un compressore d'aria di 6-7 bar, tubo dell'aria massimo 10 mm, lunghezza 30m) e manuale.



Figura 3 –utilizzo della graffatrice pneumatica (a destra) e manuale (a sinistra)

## 5.5 Spedizione e deposito dei materiali in cantiere

I gabbioni verranno inviati al cantiere. Sarà cura del personale dell'Impresa controllare che tali materiali siano disposti con cura in posizione tale da:

1. Facilitare le operazioni di carico scarico
2. Evitare rischi di danneggiamento durante la fase di trasporto
3. Mantenere l'area accessibile per qualsiasi controllo ispettivo
4. Segnalare tempestivamente qualsiasi anomalia riscontrata sulla merce

Il materiale consegnato è etichettato in modo da renderne leggibili le caratteristiche e quindi la corretta individuazione ed utilizzo da parte del personale preposto all'installazione. Le certificazioni di conformità di tutti i suddetti materiali dovranno essere fornite dalla ditta produttrice. È comunque responsabilità dell'Impresa Esecutrice verificare che tutti i materiali ricevuti siano conformi ai Documenti di Trasporto ed alle richieste del progetto Costruttivo.



## 6 REALIZZAZIONE DEL MURO IN GABBIONI

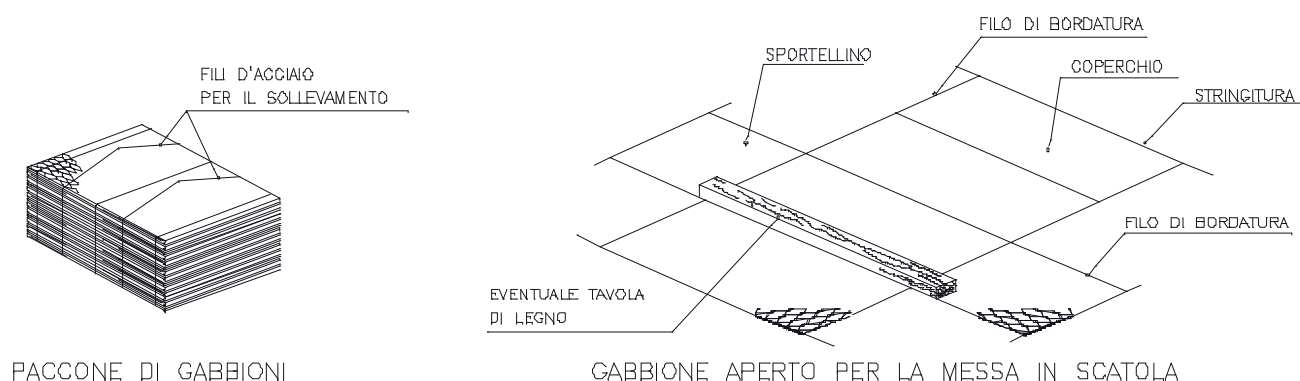
### 6.1 Posa in opera degli elementi metallici

Preparato il piano di fondazione si apriranno i pacconi e si stenderanno per la lunghezza indicata nei disegni gli elementi in rete metallica a doppia torsione.

### 6.2 Assemblaggio dei gabbioni

È necessario assicurarsi di avere uno spazio aperto e piano in cantiere per procedere all'apertura delle unità. Ogni involucro deve essere estratto dal pacco e riposto su una superficie piana e rigida. I Gabbioni dovranno essere spaccettati, distesi e riportati alla forma originale (vedi figura)

#### SCHEMA APERTURA E FORMAZIONE DEI GABBIONI A SCATOLA



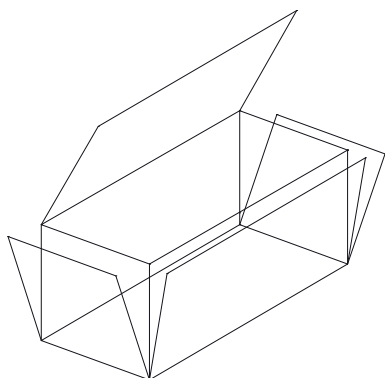
1) APRIRE IL PACCO DI GABBIONI

2) APRIRE OGNI GABBIONE APPOGGIANDO L'ELEMENTO SU TERRENO STABILE ED IN PIANO. STIRARE L'ELEMENTO ELIMINANDO LE EVENTUALI GRINZE E VERIFICANDO CHE LE LINEE DI PIEGA SIANO NELLA CORRETTA POSIZIONE PER FORMARE LO SCATOLARE.

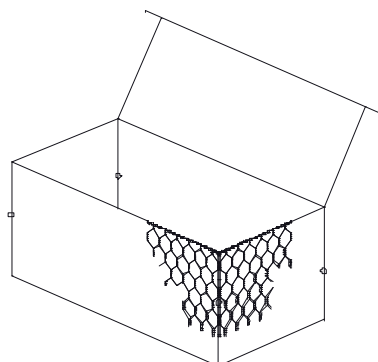
3) PIEGARE IL LATO FRONTALE E QUELLO POSTERIORE

I diaframmi centrali e i pannelli laterali devono essere portati in posizione verticale così da formare uno scatolare aperto, facendo attenzione che siano alla stessa altezza. I pannelli dovranno essere legati insieme tramite il filo di legatura. I diaframmi e i pannelli dovranno essere legati alla parte anteriore e posteriore di ciascun gabbione.

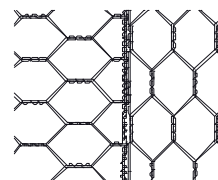
## ASSEMBLAGGIO DEI GABBIONI A SCATOLA



4) SOLLEVARE GLI SPORTELLINI LATERALI E FISSARE GLI SPIGOLI SUPERIORI CON LE CIMOSE DI FILO PREDISPOSTE NEI SINGOLI PANNELLI; QUESTO ASSICURERÀ L'ALLINEAMENTO DEI BORDI SUPERIORI DELLO SCATOLARE



5) FISSARE SPORTELLINI E LATI DELLO SCATOLARE CON UNO O PIU' PUNTI. LE OPERAZIONI DI FISSAGGIO SI POTRANNO COMPIERE USANDO IL FILO FORNITO COL GABBIONE O CON APPOSITI PUNTI MECCANIZZATI POSATI MANUALMENTE O CON PISTOLA PNEUMATICA.



PARTICOLARE LEGATURE



PARTICOLARE PUNTI METALLICI

Il filo di legatura dovrà garantire una buona chiusura dei bordi dell'unità: si potrà fissare il bordo con dei fili doppi (ogni 150 mm circa) a mò di punti. Al fine di raggiungere la massima produttività nella fase di installazione si consiglia di utilizzare punti metallici invece del filo di legatura. Se si utilizzano punti di chiusura, si consiglia l'uso di una graffatrice pneumatica o manuale per rafforzare le chiusure. I punti dovranno essere posti sia sulla sommità che sul fondo del diaframma centrale ad una distanza massima di 200 mm.

### 6.3 Posizionamento delle unità

Vengono posizionati i gabbioni vuoti e connessi a quelli adiacenti per formare una struttura monolitica continua.. Tutte le unità devono essere allineate e costruite con accuratezza utilizzando i metodi standard, per esempio casseforme in legno, tubi in metallo, assi in legno...; l'allineamento deve essere effettuato prima della fase di riempimento, poiché poi le unità saranno impossibili da spostare. I gabbioni devono essere legati uno all'altro su tutte le superfici di bordatura. Ogni fila deve essere legata in modo sicuro con quella sottostante.

Durante la fase di installazione, è di fondamentale importanza assicurare che la disposizione dei gabbioni e l'orientamento/posizionamento dei coperchi permettano agli operai di accedere facilmente e che la pala caricatrice possa effettuare le procedure di riempimento. Il posizionamento di barre d'acciaio/tubi sul bordo superiore dei pannelli verticali assicura la protezione della rete durante la fase di riempimento.

#### **6.4 Riempimento e rinforzo dei gabbioni**

Per ridurre al minimo gli spazi vuoti si utilizza pietrame di forma omogenea e di opportuna pezzatura, evitando grandi dimensioni, in modo da ottenere una struttura compatta, come descritto nel precedente capitolo. Ad interasse pari ad un terzo dell'altezza dell'elemento di facciata devono essere inseriti dei tiranti; almeno 4 tiranti per mq di facciavista del muro. Questi devono essere posizionati ad un terzo e a due terzi dell'altezza totale del gabbione. Risultano sufficienti due giri completi della bobina di legatura fornita (approssimativamente 2,3-2,7 m) per ciascun tirante, per 1m di larghezza del gabbione, e approssimativamente 3,3-3,7 m per un gabbione da 1,5m. I tiranti dovranno essere collegati alla faccia anteriore e posteriore del gabbione ed attorcigliati in mezzera, al fine di assicurarne la tesatura. Si mette in tensione il tirante torcendo con il manico della pinza finché la parete verticale risulti in linea; questa procedura deve essere ripetuta per tutte le facce esterne del gabbione. Considerato che si hanno più elementi posizionati in linea, si dovrà procedere al riempimento di questi in maniera omogenea e progressiva: la prima fase prevede il riempimento fino ad un terzo dell'altezza, successivamente si inseriscono i tiranti e si procede con il riempimento fino a due terzi dell'altezza, dove verrà inserita un nuovo ordine di tiranti, successivamente si riempirà il gabbione fino alla sommità. In tutte le fasi di costruzione la differenza di altezza del riempimento tra due gabbioni adiacenti non deve superare un terzo di metro; questo per impedire lo spanciamento delle celle. Se devono essere aggiunti più gabbioni in una fila, l'ultimo di questi sarà lasciato vuoto per facilitare l'inserimento dei tiranti. Per assicurare un buon aspetto finale dell'opera, il pietrame di tutte le facciate esterne visibili deve essere sistemato manualmente. I gabbioni devono essere riempiti di 3-5 cm oltre il bordo superiore per permettere il naturale assestamento del pietrame senza impedire però la chiusura della copertura del gabbione. Il riempimento della parte sommitale deve essere effettuata con la frazione più fine del pietrame. La posizione del diaframma e le dimensioni generali del gabbione devono essere verificate durante la costruzione dell'opera. È necessario assicurarsi che, nella fase di costruzione, gabbioni adiacenti non abbiano differenze di altezza di riempimento maggiori di 30cm, altrimenti le facce laterali e i diaframmi rischierebbero di deformarsi.

#### **6.5 Chiusura**

Chiudere la copertura, metterla in posizione con l'ausilio di un attrezzo adatto, legare la copertura alla parte frontale, posteriore e all'estremità superiore del diaframma.

## 6.6 Allineamento verticale dei gabbioni (sfalsamento)

Se il riempimento e la legatura degli elementi sono realizzati in accordo con i requisiti, gli elementi non sfalsati hanno le stesse prestazioni di quelli sfalsati. Tuttavia il loro sfalsamento determinerà un miglioramento del comportamento monolitico della struttura.

## 6.7 Realizzazione strutture accessorie

Al termine della costruzione dell'opera di sostegno verranno realizzare le struttura accessorie precedentemente descritte per la regimazione delle acque di scorrimento e per la parziale impermeabilizzazione dell'opera a tergo. In particolare, nella porzione centrale della struttura, dovrà essere realizzata l'opera idraulica di attraversamento in c.a secondo le specifiche tecniche riportate nel progetto strutturale della fondazione. A tergo dell'opera, per tutta la lunghezza verrà posizionata una guaina impermeabile in HDPE di 1.0 mt. di altezza, al fine di confinare il percolato all'interno del corpo di rifiuti, evitando quindi una trafilatura attraverso la gabbionata in progetto. Sempre a tergo dell'opera, a termine delle operazioni di copertura dell'area di discarica, verrà posizionata una canaletta di raccolta e convogliamento delle acque all'interno dell'opera idraulica di attraversamento. Infine nel prospetto frontale dell'opera di gabbioni, allo scopo di ridurre l'impatto visivo, si provvederà alla messa a dimora di vegetazione arbustiva e rampicante.

## 7 DIMENSIONAMENTO E CALCOLO DELLE OPERE IN PROGETTO

La presente relazione riguarda il dimensionamento di muri di contenimento di sottoscarpa in gabbionata. I calcoli per il dimensionamento Di tali opere, di cui si allegano i risultati di seguito, sono relativi alle sezioni più gravose in termini di altezza e di andamento del terreno a monte della gabbionata stessa.

### *Ipotesi di calcolo*

Il dimensionamento delle strutture in progetto è stato eseguito con riferimento a quanto riportato nelle seguenti tabelle ed eventualmente integrato e dettagliato nel proseguo del paragrafo. Per le altezze delle sezioni di calcolo si rimanda ai relativi tabulati ed agli eventuali disegni acclusi alla presente nota oltre che alle tavole di progetto.

|                        |               |                                 |                        |                         |
|------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|
| DATI<br><br>GEOTECNICI | GABBIONE      | $\gamma_1 = 17.5 \text{ KN/mc}$ | $\varphi_1 = 40^\circ$ | $c'_1 = 17 \text{ KPa}$ |
|                        | CAPPING       | $\gamma_2 = 18 \text{ KN/mc}$   | $\varphi_2 = 26^\circ$ | $c'_2 = 0 \text{ KPa}$  |
|                        | CORPO RIFIUTI | $\gamma_3 = 9 \text{ KN/mc}$    | $\varphi_3 = 23^\circ$ | $c'_3 = 14 \text{ KPa}$ |
| CARICHI                | STATICO       | 0 kPa                           |                        |                         |
| ACCIDENTALI            | SISMICO       | Kh=0,074                        |                        |                         |
| ESTERNI                |               | Kv=0,036                        |                        |                         |

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

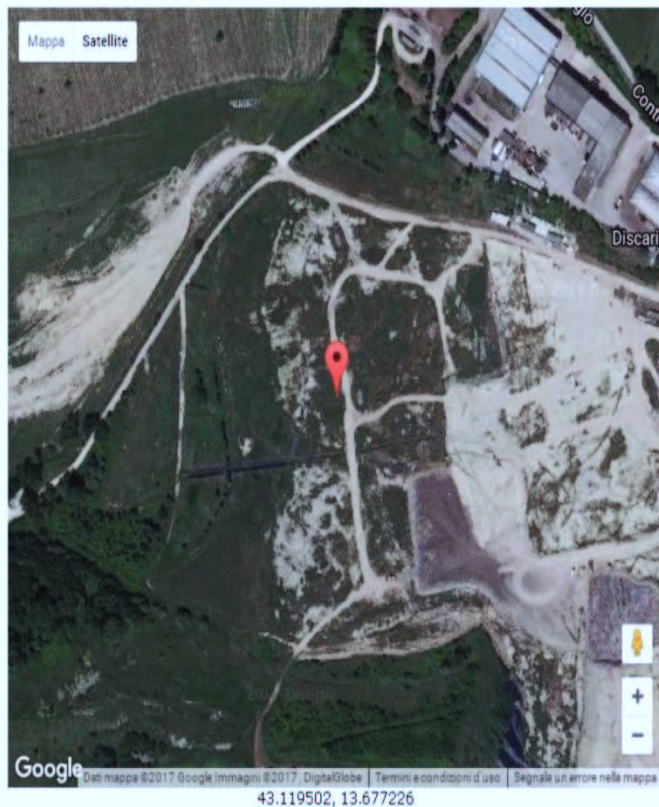
---

**WGS84 (°)**

Latitudine

Longitudine

Isole



☒ Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.  
 (2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

(1)\* Coordinate WGS84 (°)  
 Latitudine  Longitudine

(1)\* Coordinate ED50 (°)  
 Latitudine  Longitudine

Classe dell'edificio

Vita nominale  
 (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)  
 Interpolazione

| Stato Limite                                 | Tr [anni] | $a_g$ [g] | Fo    | Tc' [s] |
|--|-----------|-----------|-------|---------|
| Operatività (SLO)                            | 30        | 0,052     | 2,450 | 0,272   |
| Danno (SLD)                                  | 50        | 0,066     | 2,436 | 0,294   |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 475       | 0,179     | 2,455 | 0,328   |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 975       | 0,237     | 2,466 | 0,336   |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50        |           |       |         |

#### CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

- ☒ Muri di sostegno ☐ Paratie
- ☐ Stabilità dei pendii e fondazioni
- ☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

|   | SLO                               | SLD                               | SLV                               | SLC                               |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Ss *</b><br>Amplificazione stratigrafica | <input type="text" value="1,80"/> | <input type="text" value="1,80"/> | <input type="text" value="1,74"/> | <input type="text" value="1,52"/> |
| <b>Cc *</b><br>Coeff. funz. categoria       | <input type="text" value="2,39"/> | <input type="text" value="2,31"/> | <input type="text" value="2,18"/> | <input type="text" value="2,16"/> |
| <b>St *</b><br>Amplificazione topografica   | <input type="text" value="1,00"/> | <input type="text" value="1,00"/> | <input type="text" value="1,00"/> | <input type="text" value="1,00"/> |

☐ Acc. ne massima attesa al sito [m/s²]

| Coefficienti | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|
| kh           | 0,017 | 0,021 | 0,075 | 0,112 |
| kv           | 0,008 | 0,011 | 0,037 | 0,056 |
| Amax [m/s²]  | 0,920 | 1,168 | 3,062 | 3,533 |
| Beta         | 0,180 | 0,180 | 0,240 | 0,310 |

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

## Stati Limite Ultimi

Nelle verifiche allo stato limite ultimo devono essere prese in considerazione tutte le più gravose condizioni di carico che possono agire sulla struttura; ognuna di queste condizioni devono essere verificate agli SLU valutando gli effetti che le rispettive *combinazione delle azioni* hanno sulla struttura:

- In **condizioni statiche** si valuta lo stato limite di tipo GEO nel quale si ha il raggiungimento della resistenza ultima del terreno e conseguente meccanismo di collasso della struttura:

### Combinazione fondamentale delle azioni

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} \dots$$

- In **condizioni sismiche** (SISMA) lo stato limite ultimo analizzato è lo stato limite di salvaguardia della vita SLV (§7.1 NTC2008)

### Combinazione sismica delle azioni

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} \dots$$

Dove le azioni sismiche  $E$  sono definite utilizzando i seguenti coefficienti di accelerazione sismica :

$$k_h = 0.075$$

$$k_v = -0.037$$

elaborati in conformità alle disposizioni del DM 14.01.08 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

## Verifiche agli Stati Limite

Le verifiche agli stati limite prevedono un approccio di tipo semiprobabilistico in base al quale i valori caratteristici delle azioni e delle resistenze di progetto sono corrette da dei coefficienti parziali ( $\gamma_F, \gamma_M, \gamma_R$ ) come definito nel §6.2.3 delle NTC2008 e di seguito riassunto:

|                        |   | Coefficienti parziali | Gruppi di coefficienti parziali |
|------------------------|---|-----------------------|---------------------------------|
| Azioni di progetto     | $F_d = (F_k \cdot \psi) \cdot \gamma_F$ | $\gamma_G, \gamma_Q$  | A1 ; A2                         |
| Resistenza di progetto | $X_d = X_k / \gamma_M$                  | $\gamma_M$            | M1 ; M2                         |
| Geometria di progetto  | $a_d$                                   | -                     | -                               |
| Resistenza del sistema | $R_d = R_k / \gamma_R$                  | $\gamma_R$            | R1 ; R2 ; R3                    |



dove:

$F_k$  indica il valore caratteristico di una generica azione;

$X_k$  indica il valore caratteristico di un parametro di resistenza del terreno  $(c', c_u, \phi', q_u)$ ;

$R_k$  indica genericamente la resistenza limite calcolata.

Non vengono invece applicati coefficienti parziali alle seguenti quantità:

- geometria del problema
- peso di volume  $\gamma_{TERRENO} [kN / m^3]$

Dunque i *gruppi di coefficienti parziali* saranno scelti in base all'*approccio progettuale* utilizzato che a sua volta dipende dal *tipo di SL* analizzato (EQU; STR; GEO) §2.6.1 delle NTC2008.

L' *approccio progettuale* per le verifiche condotte in ottemperanza delle NTC2018 devono essere effettuate secondo:

Approccio 1 - Combinazione 2: A2+M2+R2

A cui corrispondono i coefficienti parziali  $(\gamma_F, \gamma_M, \gamma_R)$  riassunti nel dettaglio seguente.

### ***I coefficienti parziali***

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i valori dei coefficienti parziali sulle azioni e sui materiali definiti in accordo con il DM 14/02/2008 da impiegarsi nelle analisi dei differenti stati limite.

|           | Strutturali ( $\gamma_{G1}$ ) e Permanenti ( $\gamma_{G2}$ ) |            | Variabili $\gamma_Q$ |            |
|-----------|--|------------|----------------------|------------|
|           | Sfavorevoli  | Favorevoli | Sfavorevoli          | Favorevoli |
| <b>A2</b> | 1.0  | 1.0        | 1.3                  | 0.0        |

|           | $\gamma_M$    |      |       |       |          |
|-----------|---------------|------|-------|-------|----------|
|           | $\tan(\phi')$ | $c'$ | $c_u$ | $q_u$ | $\gamma$ |
| <b>M2</b> | 1.25          | 1.25 | 1.4   | 1.6   | 1.0      |

|                          | $\gamma_R$ |
|--------------------------|------------|
| <b>Verifiche</b>         | <b>R2</b>  |
| <b>Scorrimento</b>       | 1.0        |
| <b>Stabilità globale</b> | 1.1        |

Tra tutte le combinazioni verificate si riportano solo quelle risultate più gravose:

- Approccio 1 - Combinazione 2: A2+M2+R2 condizioni sismiche

### **PROCEDIMENTO DI CALCOLO**

Il programma Macstars W –Rel.4 di verificare la stabilità di muri di sostegno in gabbioni, nell'ampia casistica di condizioni (al variare di geometria, carichi, etc.) che possono verificarsi durante la normale progettazione.

Nel valutare la stabilità dell'opera in gabbioni sono introdotti i seguenti fattori:

- 1) inclinazione del muro;
- 2) peso specifico del pietrame di riempimento dei gabbioni;
- 3) presenza o meno di un geotessile nel terrapieno e alla base del muro;
- 4) geometria del terrapieno;
- 5) parametri geotecnici del terrapieno:  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ ;
- 6) geometria del terreno a valle dell'opera;
- 7) parametri geotecnici del terreno di fondazione:  $\gamma$ ,  $\phi$ ,  $c$ ;
- 8) caratteristiche della falda;
- 9) sovraccarichi verticali superficiali;
- 10) azioni sismiche, assimilate a forze statiche equivalenti;

La principale ipotesi di calcolo del programma è quella che considera il problema come piano. Ciò equivale a considerare indefinita l'estensione dell'opera nella direzione ortogonale alla sezione analizzata. In tale ipotesi si trascurano gli effetti causati da variazioni di carico o di geometria (gabbioni, o terreno) nella direzione perpendicolare al piano. D'altra parte un'analisi del problema che tenga conto anche di questi effetti sarebbe più completa, ma certamente comporterebbe un aumento considerevole della complessità di calcolo e dei dati necessari a descrivere il problema. L'esperienza dimostra inoltre che, a meno di casi particolari, l'analisi piana rispetto a quella tridimensionale porta a risultati a favore di sicurezza. Infine, il programma prende in considerazione le caratteristiche meccaniche dei gabbioni attualmente in commercio.

### **TEORIA E METODO DI CALCOLO**

I metodi utilizzati nel calcolo fanno riferimento all'Equilibrio Limite, alle teorie di Rankine, Coulomb, Meyerhof, e Bishop (metodo del semplice) per ciò che riguarda la stabilità generale dell'opera. Le teorie di Rankine e di Coulomb sono le più usate nel calcolo della spinta sulle strutture di sostegno. Esse si basano su modelli che approssimano in modo più o meno corretto il comportamento della massa di terra. L'affidabilità dei risultati ottenuti è tanto maggiore quanto più il modello studiato si approssima al comportamento reale. In primo luogo, va ricordato che per la formazione dello stato attivo nel terreno è necessario che la struttura sia soggetta ad un piccolo cedimento verso valle. Nel caso di un'opera di sostegno in gabbioni tale movimento avviene, e questo permette di affermare che in tal

caso si ha effettivamente la completa mobilitazione della resistenza al taglio del terreno. In secondo luogo, i metodi di Coulomb e dell'equilibrio limite, adottano l'ipotesi di una superficie di rottura piana. Tuttavia è noto che la superficie di rottura più critica non è piana, ma curva, dato l'attrito tra terreno e struttura. Ciò nonostante un confronto tra i risultati ottenuti con tali teorie e quelli ottenuti con teorie che adottano superfici curve, evidenzia come in realtà ci sia poca differenza tra le spinte attive calcolate con i due metodi, e questo giustifica pienamente la semplificazione delle superfici piane. Nel caso della spinta passiva invece le discrepanze sono abbastanza grandi, per cui i metodi che utilizzano superfici di rottura piane sono da considerare meno affidabili nella previsione della spinta passiva, in presenza di attrito tra la struttura e il suolo. Per tale ragione risulta più lecito l'utilizzo della teoria di Rankine nel calcolo della spinta passiva, giacchè essa non tiene conto dell'attrito terreno-struttura. La verifica della struttura consiste pertanto nel determinare le azioni agenti (spinte), e successivamente verificare la sicurezza nei confronti dei diversi tipi di rottura a cui può essere soggetta l'opera. Nel caso di muri di sostegno a gravità i principali tipi di rottura che possono avvenire sono quelli mostrati nella figura 1 e sono:

- |  |   |                   |
|--|---|-------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Slittamento della base</li> <li>2. Ribaltamento</li> <li>3. Schiacciamento della fondazione</li> <li>4. Stabilità generale dell'ammasso</li> <li>5. Stabilità interna della struttura</li> </ol> | } | Stabilità esterna |
|--|---|-------------------|

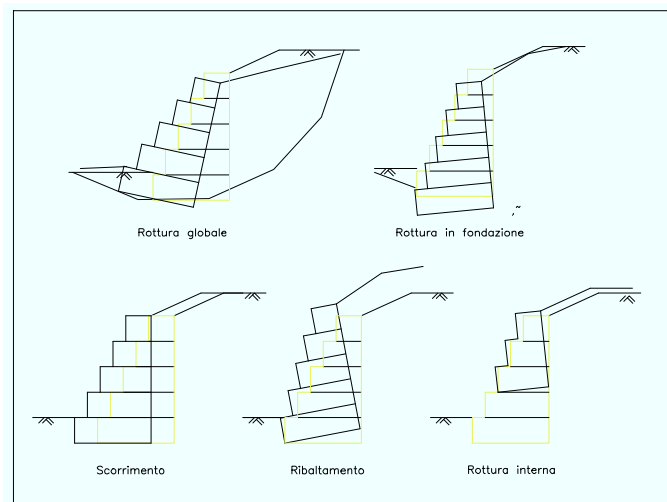


fig.1 Tipi di rottura possibile nei muri di sostegno in gabbioni

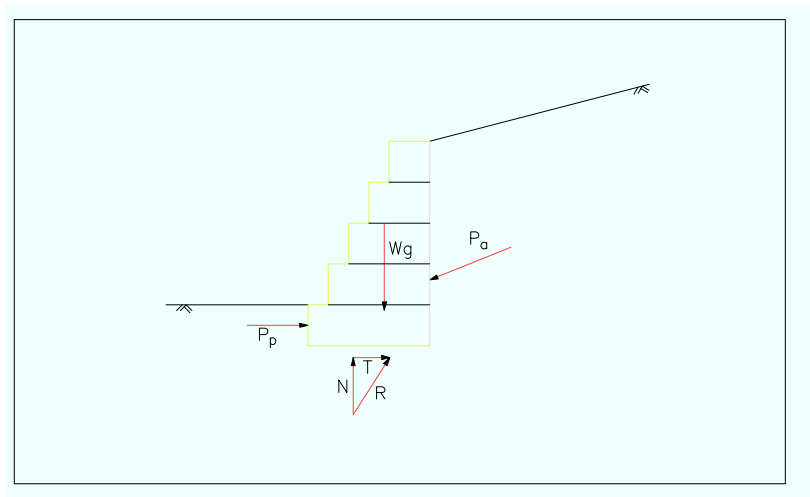


figura 2- Forze agenti su una struttura di sostegno

Le forze agenti sono le spinte  $P_a$  ed  $P_p$ , il peso proprio della struttura  $W_g$  e la reazione della fondazione  $R$ . Quest'ultima forza può essere scomposta in una forza normale  $N$  e in una forza tangente  $T$  alla base della struttura di sostegno. Oltre a queste forze se ne debbono considerare altre, dipendenti dalle condizioni. Per esempio, nel caso che la struttura sia parzialmente o totalmente sommersa, si deve tener conto delle sottospinte  $V$  (figura 3), mentre nella analisi sismica si debbono considerare le forze di inerzia orizzontale  $I_h = C_h W_g$  e  $I_v = C_v W_g$  verticale. Altre forze possono anche provenire da sovraccarichi applicati direttamente sulla struttura.

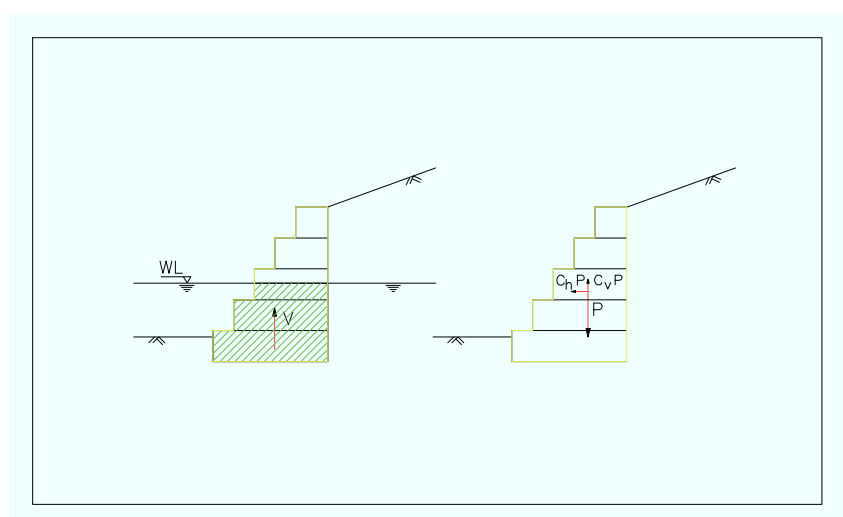


figura 3 - Sottospinte e forze d'inerzia

### STABILITA' ESTERNA: Stabilità allo scorrimento

Lo scorrimento della struttura avviene quando la sua resistenza lungo la base, sommata alla spinta passiva disponibile a valle, non sono sufficienti ad opporsi alle forze instabilizzanti provocate dal terreno a monte. La verifica allo scorrimento si effettua confrontando la forza di resistenza disponibile alla base del muro, con la forza che provoca instabilità della struttura. Quest'ultima si determina a partire dall'equilibrio delle forze agenti sul muro di sostegno (figura 4.1).

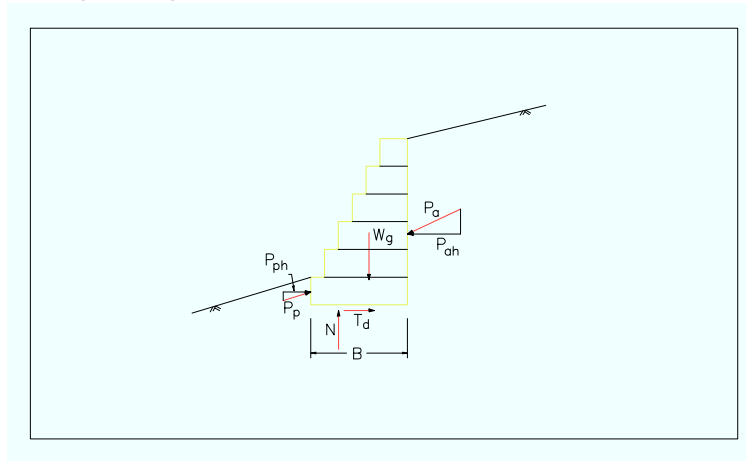


figura 4.1 - Forze che agiscono su un'opera di sostegno

Le forze che agiscono sul muro sono:

- ♦ Spinta attiva provocata dal terrapieno  $P_a$ ,
- ♦ Spinta passiva disponibile  $P_p$ ,
- ♦ Peso proprio del muro  $W_g$
- ♦ Forza normale agente sulla base  $N$ ,
- ♦ Forza resistente tangente alla base  $T$ .

Quest'ultima forza è quella mobilitata per l'equilibrio, mentre il valore disponibile è calcolato in funzione della forza normale  $N$ . La determinazione di  $N$  e  $T$  si ottiene semplicemente con l'equilibrio delle forze nella direzione di entrambe.

Oltre a quelle citate, altre forze possono essere presenti nell'equilibrio:

- ♦ Carico distribuito sul muro,
- ♦ Carico concentrato sul muro,
- ♦ Forze di inerzia dovute all'effetto sismico,
- ♦ Sottopressioni.

Le prime due si ottengono direttamente dai dati del programma e si sommano al peso proprio del muro.

Le forze di inerzia si ottengono moltiplicando il peso della struttura per i coefficienti di accelerazione verticale  $k_v$  e orizzontale  $k_h$ , forniti dall'utente.

Le sottopressioni nascono quando la struttura è parzialmente sommersa e si considera automaticamente utilizzando il peso specifico sommerso  $\gamma_g$  nel calcolo del peso proprio del muro. Questo peso specifico si utilizza soltanto per la parte di muro che si trova al di sotto del livello dell'acqua e vale:

$$(4.1) \quad \gamma_g = \gamma_{g_{sat}} - \gamma_w = \gamma_{st} \cdot (1-n) + n \cdot \gamma_w \quad \gamma_w = (\gamma_{st} - \gamma_w) \cdot (1-n)$$

dove  $\gamma_{st}$  è il peso specifico del pietrame con cui sono riempiti i gabbioni, ed  $n$  è la porosità (indice dei vuoti).

La forza resistente disponibile è data da:

$$(4.2) \quad T = N \cdot \tan \varphi^* + c \cdot B$$

dove  $\varphi^*$  è l'angolo di attrito tra il suolo di fondazione e la base, e  $B$  è la lunghezza della base. Il valore di  $\varphi^*$  è assunto uguale all'angolo di attrito del suolo della fondazione nel caso che non venga impiegato filtro geotessile sotto la base del muro. Nel caso contrario l'angolo di attrito è ridotto del valore fornito dall'utente. Quando la base del muro si prolunga nell'interno della massa di terra, come mostrato nella figura 2.4 del paragrafo 2.2, il valore di  $T$  è aumentato dall'effetto dell'ancoraggio di tale prolungamento. Per il calcolo di questo aumento, si determina la pressione verticale  $\sigma_v$  agente sul prolungamento della base e la sua lunghezza  $L$ . Si ottiene:

$$(4.3) \quad T_a = (\sigma_v \cdot \tan \varphi^* + c) \cdot L$$

Si noti che in questo caso il valore della lunghezza della base  $B$  utilizzato nell'equazione 4.2, è ridotto della quantità  $L$ . Il valore di  $T_a$  è limitato dalla resistenza a trazione della maglia dei gabbioni:

$$(4.4) \quad T_a \leq 2 T_{max} / 1.2$$

dove  $T_{max}$  è la trazione massima ammissibile nella maglia ( 4.3 t/m). Il coefficiente di sicurezza allo scorrimento è dato quindi dall'espressione:

$$(4.5) \quad F_s = \frac{T_d + P_{ph}}{P_{ah}}$$

dove  $P_{ah}$  e  $P_{ph}$  sono le componenti della spinta attiva e passiva nella direzione di scorrimento (figura 4.1).



### STABILITA' ESTERNA: Stabilità al ribaltamento

La stabilità al ribaltamento della struttura si verifica attraverso il confronto tra i momenti delle forze attive stabilizzanti  $M_r$  e i momenti delle forze attive di ribaltamento  $M_o$ . Questi momenti si calcolano rispetto all'angolo inferiore sinistro della base del muro che rappresenta il punto di rotazione al ribaltamento (figura 4.2).

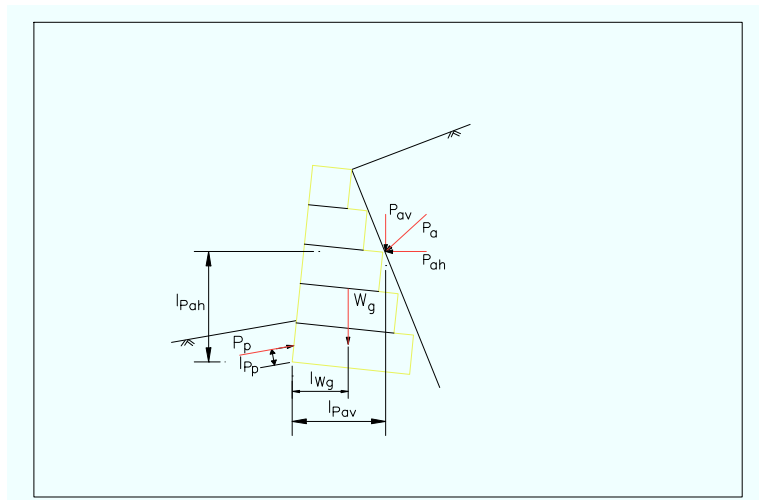


figura 4.2 - Momento stabilizzante e ribaltante

Le forze che contribuiscono alla stabilizzazione sono:

- ♦ Peso proprio della struttura,
- ♦ Spinta passiva,
- ♦ Carichi applicati sul muro.

Le forze di inerzia provocate dall'effetto sismico e le sottopressioni che intervengono quando il muro è parzialmente sommerso, si considerano nel peso proprio, nel senso che diminuiscono il momento stabilizzante.

Il momento di ribaltamento è, a sua volta costituito esclusivamente dal momento di spinta attiva agente sul muro.

Il coefficiente di sicurezza contro il ribaltamento è quindi calcolato come:

$$(4.6) \quad F_o = \frac{M_r}{M_o}$$

In alcuni casi accade che la spinta attiva provochi un momento nella direzione opposta al ribaltamento; in tali casi il coefficiente di sicurezza contro il ribaltamento perde di significato, poiché non si ha momento ribaltante. L'utente ne viene informato dal programma.

### STABILITA' ESTERNA: Pressioni in fondazione

Per il calcolo delle pressioni agenti sulla fondazione della struttura, si determina innanzitutto il punto di applicazione della forza normale  $N$ , calcolata nella verifica allo scorrimento. Si esegue l'equilibrio dei momenti rispetto all'angolo inferiore sinistro della base, che risulta da:

$$(4.7) \quad d = \frac{M_r - M_o}{N}$$

dove  $M_r$  e  $M_o$  sono dedotti dalla verifica al ribaltamento, e  $d$  è la distanza tra il punto di applicazione di  $N$  e l'angolo inferiore sinistro della base (figura 4.3).

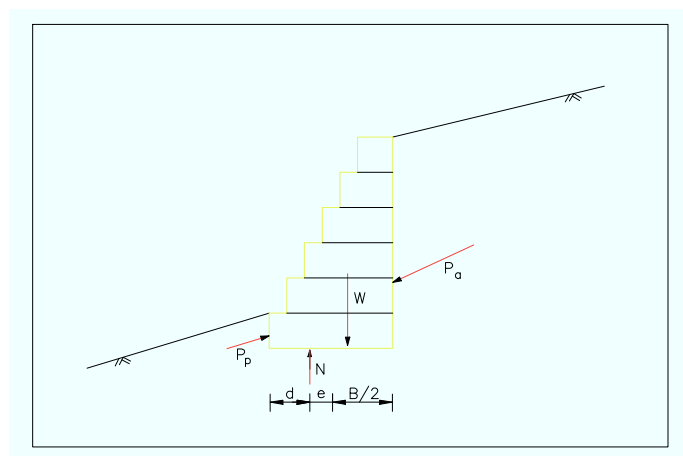


figura 4.3 - Punto di applicazione di  $N$

Questa forza normale è la risultante delle pressioni normali che agiscono sulla base della struttura di sostegno. Per poter determinare queste pressioni deve essere noto il modo in cui sono distribuite. Normalmente si ammette una loro distribuzione lineare, per cui i loro valori massimo e minimo si troveranno agli estremi della base della struttura (figura 4.4) e saranno dati da:

$$(4.8) \quad \sigma_{\max} = \frac{N}{B} \cdot \left( 1 + 6 \cdot \frac{e}{B} \right)$$

e

$$(4.9) \quad \sigma_{\min} = \frac{N}{B} \cdot \left( 1 - 6 \cdot \frac{e}{B} \right)$$

dove  $e$  è l' eccentricità della forza normale  $N$  per  $e \leq B/6$  .Nel caso che  $e > B/6$  , per la distribuzione delle pressioni, si utilizza soltanto una parte della base (figura 4.4).

Questa porzione è uguale a  $3d$  e dunque il valore della pressione massima  $\sigma_{max}$  è pari a:

$$(4.10) \quad \sigma_{max} = \frac{2 \cdot N}{3 \cdot d}$$

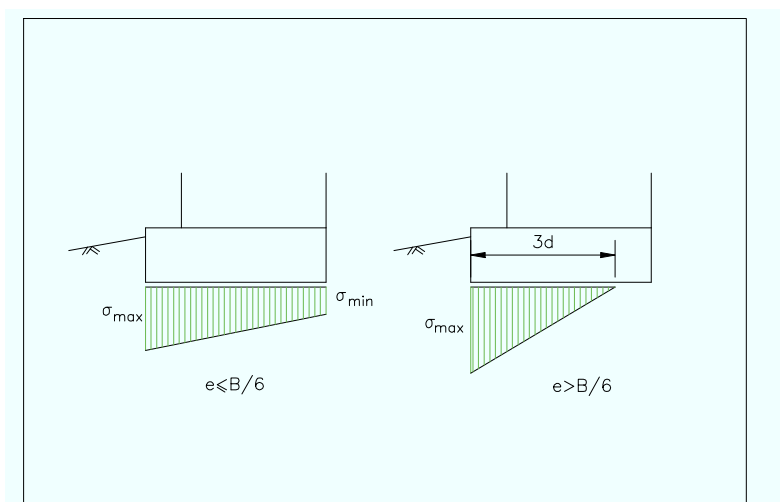


figura 4.4 - Distribuzione di pressioni sulla base

Quest'ultima situazione deve essere sempre evitata dove sia possibile; l'utente viene avvisato quando essa si verifica. Il valore delle pressioni agenti sulla fondazione deve essere confrontato con la pressione massima ammissibile del suolo di fondazione. Quando l'utente non fornisce questo valore al programma, esso viene calcolato ricorrendo alla formula di Hansen:

$$(4.11) \quad p_{lim} = c \cdot N_c \cdot d_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + \frac{1}{2} \gamma B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma$$

dove  $c$  è la coesione del suolo,  $q = \gamma z$  è la pressione verticale alla profondità della fondazione,  $\gamma$  è il peso specifico del suolo,  $B$  è la lunghezza della base dei gabbioni e gli altri parametri sono dati da:

$$(4.12) \quad i_q = 1 - \frac{T}{2N}$$

$$(4.13) \quad i_\gamma = i_q^2$$

$$(4.14) \quad d_c = d_q = 1 + 0,35 \cdot \frac{z}{B}$$

$$(4.15) \quad d_\gamma = 1$$

$$(4.16) \quad N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$(4.17) \quad N_c = \frac{N_q - 1}{\tan \varphi}$$

$$(4.18) \quad N_\gamma = 1,8 \cdot \left( N_q - 1 \right) \cdot \tan \varphi$$

La pressione massima ammissibile nella fondazione è data da:

$$(4.19) \quad \sigma_{adm} = \frac{p_{lim}}{3}$$

Questo valore della pressione ammissibile si determina utilizzando le caratteristiche del suolo al di sopra della fondazione. Nel caso si abbiano strati di suolo meno resistenti al di sotto della quota di appoggio della struttura, deve essere eseguita una verifica manuale di questi strati.

## STABILITA' GLOBALE

Oltre alle forme di rottura citate nei paragrafi precedenti, può avvenire la rottura globale della massa di terra lungo una superficie di rottura più esterna alla struttura di sostegno. Questo tipo di rottura avviene principalmente quando ci si trova in terreni di fondazione di diverse caratteristiche, alcuni dei quali meno resistenti, oppure nel caso dei muri di sottoscarpa stradale quando l'inclinazione del pendio a valle dell'opera è sensibile.

I metodi di verifica della stabilità più impiegati sono quelli che ipotizzano il comportamento della parte di massa soggetta allo slittamento come blocco rigido lungo un piano inclinato (figura 6.1), oppure lungo una superficie curvilinea, dividendo in questo caso la massa di terreno in fette (o striscie) verticali (Fellenius, Bishop, etc.).

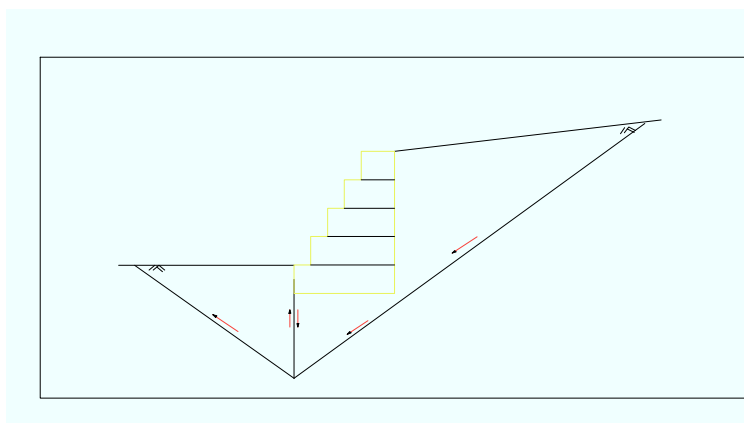


figura 6.1 - Rottura globale dell'ammasso (sup. piane)

Il metodo dei cunei considera la superficie di rottura formata da una serie di piani che delimitano cunei rigidi. Il loro equilibrio richiede la mobilitazione di una parte della resistenza lungo questi piani. Il rapporto tra la resistenza disponibile lungo la superficie di rottura e la tensione agente, rappresenta il coefficiente di sicurezza alla rottura dell'ammasso. La superficie più critica si determina quindi procedendo per tentativi, cercando di identificare quella dal minor valore del coefficiente di sicurezza. Come si vede, l'analisi sopra descritta è abbastanza simile a quella eseguita nella verifica allo scorrimento della struttura lungo la base (paragrafo 4.1). Anche in questo caso i piani di rottura formano tre cunei rigidi: il cuneo attivo, la struttura di sostegno e il cuneo passivo (figura 6.2). La differenza principale sta nel fatto che nell'equilibrio del cuneo attivo si considera la totale mobilitazione della resistenza al taglio, lungo le superfici  $\overline{AB}$  e  $\overline{AC}$ . Questo vuol dire considerare un valore di coefficiente di sicurezza allo scorrimento lungo tali superfici unitario. In tal modo il coefficiente di sicurezza allo slittamento  $F_d$  è, in verità, ristretto alle superfici della base del muro e del cuneo passivo. Poiché è stata mobilitata tutta la resistenza disponibile lungo le superfici di cuneo attivo, la resistenza necessaria all'equilibrio dell'insieme, lungo le superfici in cui  $F_d$  è calcolato, è minore di quella che fa risultare un valore numericamente superiore a questo rispetto al coefficiente di sicurezza contro la rottura globale.

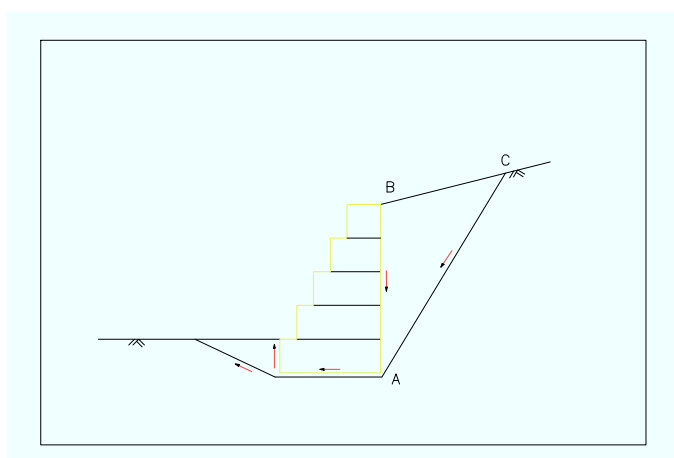


figura 6.2 - Cuneo formato nell'analisi allo scorrimento

Per tale motivo quindi i valori minimi richiesti da una analisi alla rottura globale possono anche risultare minori di quelli calcolati dall'analisi allo scorrimento lungo la base.

Quanto ai metodi che impiegano superfici circolari, il loro modo di determinare il coefficiente di sicurezza è equivalente a quello del metodo dei cunei, giacchè si considera la mobilitazione parziale della resistenza lungo tutta la superficie di rottura.

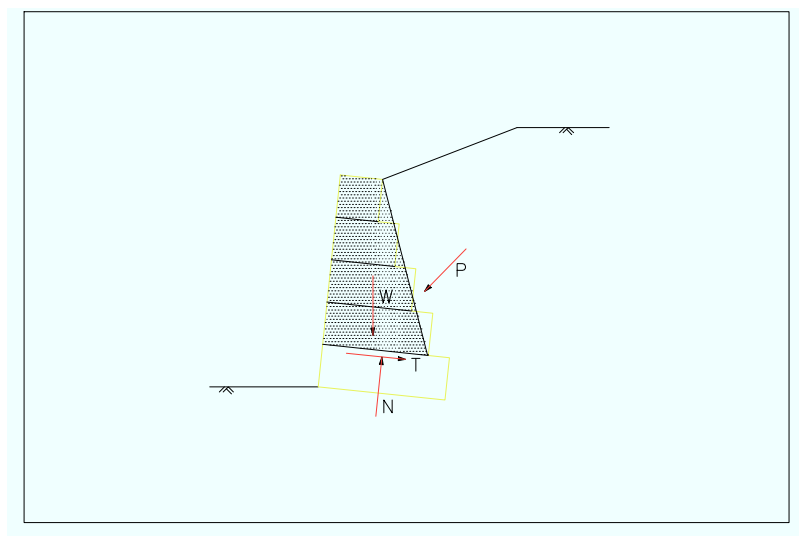
Il grande vantaggio di questi metodi, è la possibilità di considerare un gran numero di situazioni diverse come strati di terreni differenti, pressioni neutre, falda freatica, sovraccarichi, ecc. Inoltre, considerano superfici di rottura più realistiche, cioè che approssimano meglio le rotture osservate. Tra questi metodi, il più usato è quello di Bishop.

### STABILITA' INTERNA

Oltre alle precedenti verifiche, la struttura di sostegno deve anche essere verificata contro la possibilità di rottura interna, essendo sottoposta a sforzi interni provocati dalla spinta e dai sovraccarichi direttamente applicati. I meccanismi di possibile rottura interna possono essere diversi a seconda del tipo di struttura.

Nel caso dei muri in gabbioni si dovrà verificare in ogni sezione che non si abbia scorrimento della parte sovrastante di struttura su quella sottostante.

Per questa analisi si determina la spinta attiva che agisce sulla porzione di muro al di sopra della sezione analizzata, utilizzando gli stessi procedimenti già descritti nel capitolo 2 (figura 5.1).



*figura 5.1 - Analisi nelle sezioni intermedie*

Successivamente si calcolano le tensioni di taglio e normali massime agenti sulla sezione, servendosi dell'equilibrio delle forze e dei momenti, come spiegato nei paragrafi 4.1 e 4.3. La tensione di taglio sarà :



$$(5.1) \quad \tau = \frac{T}{B}$$

e la tensione normale massima:

$$(5.2) \quad \sigma_{max} = \frac{N}{2 \cdot d}$$

dove **B** è la larghezza della gabbionata in corrispondenza della sezione analizzata e **T**, **N** e **d**, si ricavano dagli equilibri delle forze e dei momenti. I valori ammissibili per le tensioni di taglio e normali sono:

$$(5.3) \quad \tau_{adm} = N \cdot \tan \varphi^* + c_g$$

$$(5.4) \quad \sigma_{adm} = 50 \cdot \gamma_g - 30 \quad (\text{espresso in t/m}^2)$$

dove:

$$(5.5) \quad \varphi^* = 25 \cdot \gamma_g - 10^\circ$$

$$(5.6) \quad c_g = 0,3 \cdot P_u - 0,5 \quad (\text{espresso in t/m}^2)$$

In queste espressioni  $\gamma_g$  è il peso specifico dei gabbioni dato da  $\gamma_g = \gamma_s (1 - n)$  e  $P_u$  è il peso del gabbione espresso in kg/m<sup>3</sup>. Quest'ultimo si determina in funzione della trazione ammissibile nella maglia  $T_{max}$  in base alla tabella seguente:

|                               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $T_{max}$ (t/m)               | 3.0  | 3.4  | 3.5  | 4.0  | 4.2  | 4.3  | 4.5  | 4.7  | 5.3  |
| $P_u(a)$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 8.5  | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 12.3 | 11.8 | 14.3 | 15.2 | 15.0 |
| $P_u(b)$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 5.55 | 7.85 | 7.25 | 8.2  | 8.2  | 8.4  | 10.5 | 10.3 | 10.5 |

In questa tabella, costruita in base ai valori medi della produzione di gabbioni, i valori di  $P_u(a)$  si riferiscono a gabbioni di 0.50 m di altezza e quelli di  $P_u(b)$  si riferiscono a gabbioni di 1,00 m di altezza.

### **Coefficienti di sovradimensionamento – valori minimi ottenuti**

Si definiscono i cosiddetti *coefficienti di sovradimensionamento*, cioè i rapporti fra le capacità di resistenza della struttura e le azioni agenti sulla struttura stessa. Poiché nel dimensionamento sono stati introdotti sia coefficienti di sicurezza parziali che fattori di amplificazione dei carichi, è sufficiente che i fattori di sovradimensionamento siano maggiori od uguali a 1,00 per garantire la sicurezza nei confronti del criterio considerato. I valori minimi ottenuti nella struttura in oggetto sono riportati in dettaglio nei tabulati di calcolo allegati.

### **Esclusioni**

L'attendibilità dei dati geotecnici in fase esecutiva deve essere verificata attraverso prove di laboratorio e di cantiere. Sarà compito della DD.LL. verificare che i materiali posti in opera corrispondono a quelli di progetto, al fine di assicurare, nella costruzione dei rilevati, i coefficienti di sicurezza previsti.

## **8 PIANI DI CONTROLLO E MANUTENZIONE DELL'OPERA**

Al fine di una corretta gestione dell'opera e delle sue parti nel corso degli anni di esercizio si prevede un sistema di controlli e di interventi da eseguire a cadenze temporalmente prefissate

### **Con cadenza semestrale verrà eseguita una ispezione completa lungo l'opera al fine di:**

- esaminare lo stato di conservazione delle caratteristiche tecniche delle gabbionate, in particolare la verticalità delle pareti;
- esaminare la posizione dei gabbioni rispetto alla configurazione di progetto;
- controllare la funzionalità dell'opera idraulica di attraversamento attraverso l'ispezione operata da maestranze specializzate;

Esame della posizione dei gabbioni, rispetto alla configurazione di progetto

### **Con cadenza annuale occorre:**

- riparare eventuali piccole rotture delle maglie dei gabbioni e ripristinarne la continuità;
- ripristinare i riempimenti di materiale arido eventualmente in disordine,
- ripristinare le superfici verdi eventualmente deterioratesi.

### **Con cadenza triennale, in relazione ai danni verificati e segnalati durante le visite di controllo occorre:**

- riparare eventuali rotture delle maglie dei gabbioni, sostituire interamente conci di gabbioni andati perduti e ripristinarne la continuità;
- ripristinare la officiosità delle sezioni idrauliche in corrispondenza dell'attraversamento stradale;
- ripristinare i riempimenti di materiale arido eventualmente in disordine,
- ripristinare le superfici verdi eventualmente deterioratesi.

## 9. VERIFICHE DI STABILITA' OPERA DI SOSTEGNO (GABBIONATA)

*Realizzate secondo le Norme tecniche per le costruzioni*

*D.M. 14/01/2008 -Verifiche di sicurezza (SLU)*

### SOMMARIO

|   |     |
|---|-----|
| CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI ..... | 300 |
| PROFILI STRATIGRAFICI .....                   | 322 |
| MURI IN GABBIONI.....                         | 333 |
| Muro : GAB .....                              | 333 |
| CARICHI.....                                  | 344 |
| Verifica di stabilità globale :.....          | 345 |
| Verifica di resistenza interna : .....        | 366 |
| Verifica di resistenza interna : .....        | 377 |
| Verifica come muro di sostegno :.....         | 388 |
| Verifica di resistenza interna : .....        | 39  |
| Verifica di resistenza interna : .....        | 400 |

Software utilizzato per le verifiche: *Macstars W –Rel.4*

## CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

### Terreno : A-S

Descrizione : Argilla e Sabbia

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace

Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00

Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

Angolo d'attrito.....[°].....: 26.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00

Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole

Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 18.00

Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 0.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00

Coefficiente di Poisson.....: 0.30

### Terreno : GB

Descrizione : gabbioni

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace

Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 17.00

Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

Angolo d'attrito.....[°].....: 40.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00

Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole

Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 17.50

Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 0.00

Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00

Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : P**

Descrizione : Pali

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace

Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 50.00

Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

Angolo d'attrito.....[°].....: 45.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00

Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole

Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 24.00Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 0.00Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00

Coefficiente di Poisson.....: 0.30

**Terreno : R1**

Descrizione : Rifiuti recenti

Classe coesione.....: Coeff. Parziale - Coesione efficace

Coesione.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 14.00

Classe d'attrito.....: Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio

Angolo d'attrito.....[°].....: 23.00

Rapporto di pressione interstiziale (Ru).....: 0.00

Classe di peso.....: Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole

Peso specifico sopra falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 9.00Peso specifico in falda.....[kN/m<sup>3</sup>].....: 0.00Modulo elastico.....[kN/m<sup>2</sup>].....: 0.00

Coefficiente di Poisson.....: 0.30



## PROFILI STRATIGRAFICI

### Strato: A.S

Descrizione: argille- sabbie

Terreno : A-S

|      |      |      |      |       |      |     |     |
|------|------|------|------|-------|------|-----|-----|
| X    | Y    | X    | Y    | X     | Y    | X   | Y   |
| [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]   | [m]  | [m] | [m] |
| 5.46 | 2.11 | 5.47 | 4.11 | 12.36 | 7.12 |     |     |

### Strato: RR

Descrizione: Rifiuti

Terreno : R1

|      |      |      |      |     |     |     |     |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| X    | Y    | X    | Y    | X   | Y   | X   | Y   |
| [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 0.00 | 0.00 | 3.46 | 1.11 |     |     |     |     |

### Strato: RR1

Descrizione: rifiuti

Terreno : R1

|      |      |      |      |       |      |     |     |
|------|------|------|------|-------|------|-----|-----|
| X    | Y    | X    | Y    | X     | Y    | X   | Y   |
| [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m]   | [m]  | [m] | [m] |
| 5.46 | 1.11 | 5.47 | 2.11 | 12.36 | 5.22 |     |     |

### Strato: S1

Descrizione: pali

Terreno : P

|      |      |      |      |     |     |     |     |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| X    | Y    | X    | Y    | X   | Y   | X   | Y   |
| [m]  | [m]  | [m]  | [m]  | [m] | [m] | [m] | [m] |
| 3.46 | 1.11 | 5.46 | 1.11 |     |     |     |     |

## MURI IN GABBIONI

### Muro : GAB

Coordinate Origine.....[m].....: Ascissa.....= 3.46 Ordinata.....= 1.11

Rotazione muro.....[°].....= 0.00

Materiale riempimento gabbioni.....: GB

Terreno di riempimento a tergo.....: P

Terreno di copertura.....: P

Terreno di fondazione.....: P

| Strato | Lunghezza [m] | Altezza [m] | Distanza [m] | Pu [kN/m³] |
|--------|---------------|-------------|--------------|------------|
| 1      | 2.00          | 0.50        | 0.00         | 105.95     |
| 2      | 2.00          | 1.00        | 0.00         | 72.59      |
| 3      | 1.50          | 1.00        | 0.50         | 72.59      |
| 4      | 1.00          | 1.00        | 1.00         | 72.59      |

Gabbioni senza diaframmi

Maglia 8x10                      Diametro filo 2,7 [mm]

Classe Pu                      : Pu

Parametri per il calcolo della capacità portante con Brinch Hansen, Vesic o Meyerhof

Affondamento fondazione.....[m] : 0.00

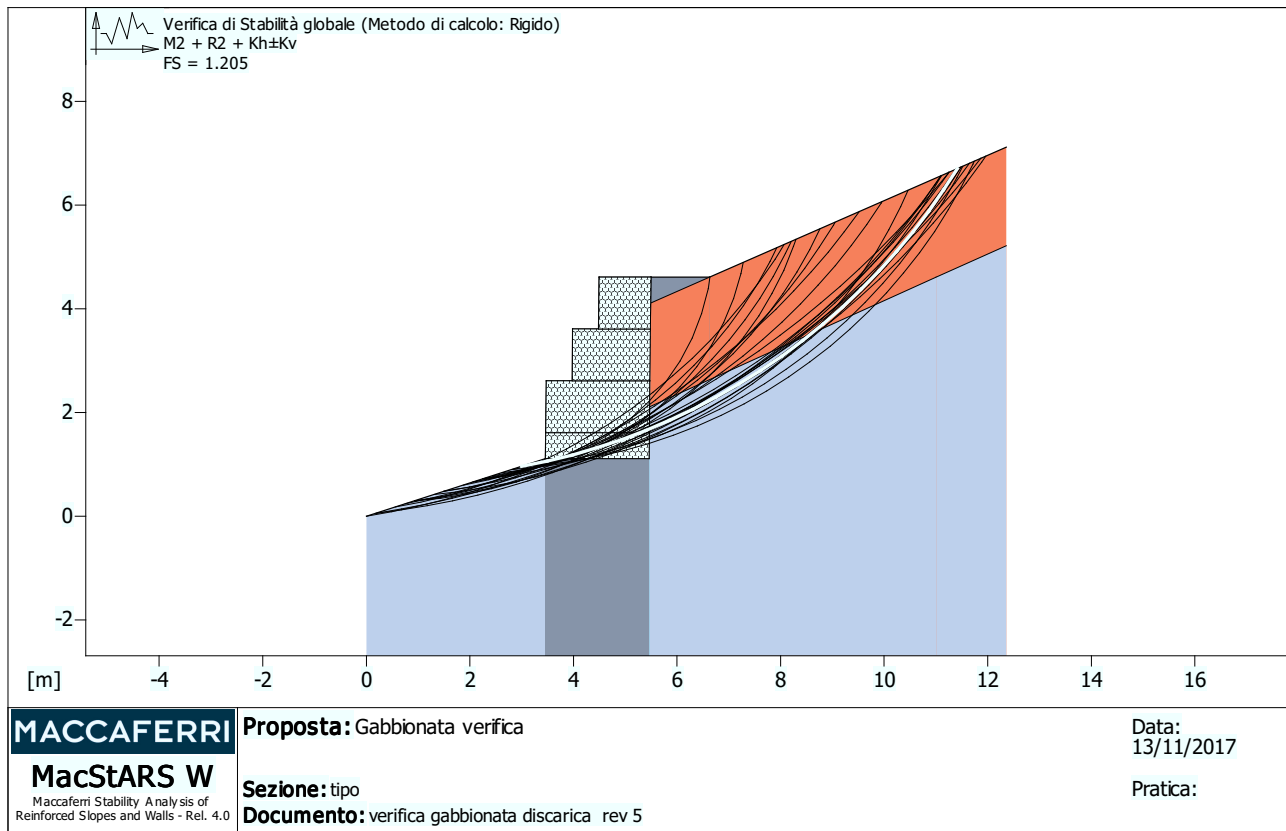
Inclinazione pendio a valle.....[°] : 0.00

## CARICHI

### Sisma :

Classe : Sisma

Accelerazione.....[m/s<sup>2</sup>] : Orizzontale.....= 0.74 Verticale.....= 0.36



### Verifica di stabilità globale :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Calcolo delle forze nei rinforzi col metodo rigido

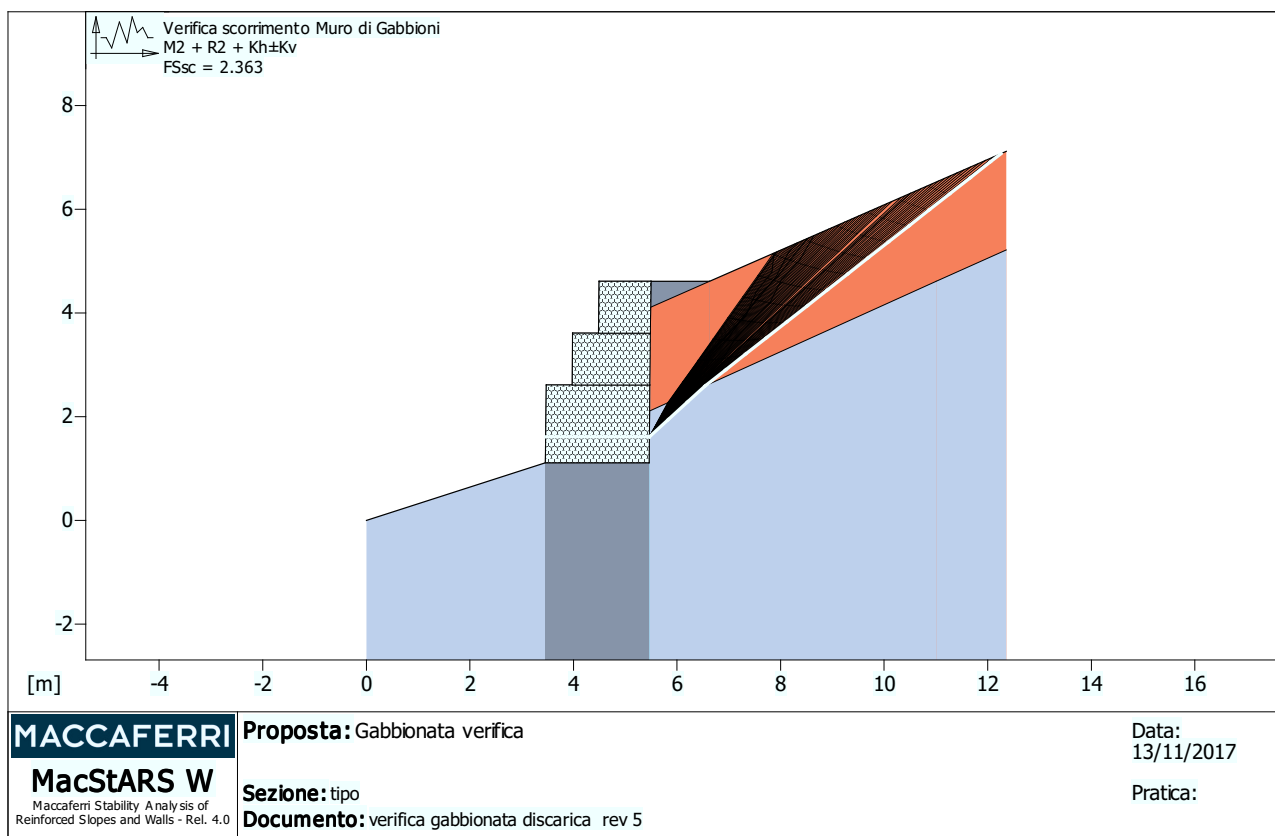
Ricerca delle superfici critiche col metodo di Bishop

**Coefficiente di sicurezza minimo calcolato.....: 1.205**

### Intervallo di ricerca delle superfici

| Segmento di partenza, ascisse [m]                           |               | Segmento di arrivo, ascisse [m] |               |
|---|---------------|---------------------------------|---------------|
| Primo punto   | Secondo punto | Primo punto                     | Secondo punto |
| 0.00  | 3.00          | 6.00                            | 12.00         |
| Numero punti avvio superfici sul segmento di partenza.....: |               |                                 | 17            |
| Numero totale superfici di prova.....:                      |               |                                 | 170           |
| Lunghezza segmenti delle superfici..... [m].....:           |               |                                 | 0.50          |
| Angolo limite orario.....[°].....:                          |               |                                 | 0.00          |
| Angolo limite antiorario.....[°].....:                      |               |                                 | 0.00          |

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.25    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.25    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.40    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Fs Rottura Rinforzi   |
| 1.00    | Fs Sfilamento Rinforzi  |
| 1.10    | Coeff. Parziale R – Stabilità                                 |



### Verifica di resistenza interna :

Combinazione di carico : M2 + R2 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : GAB

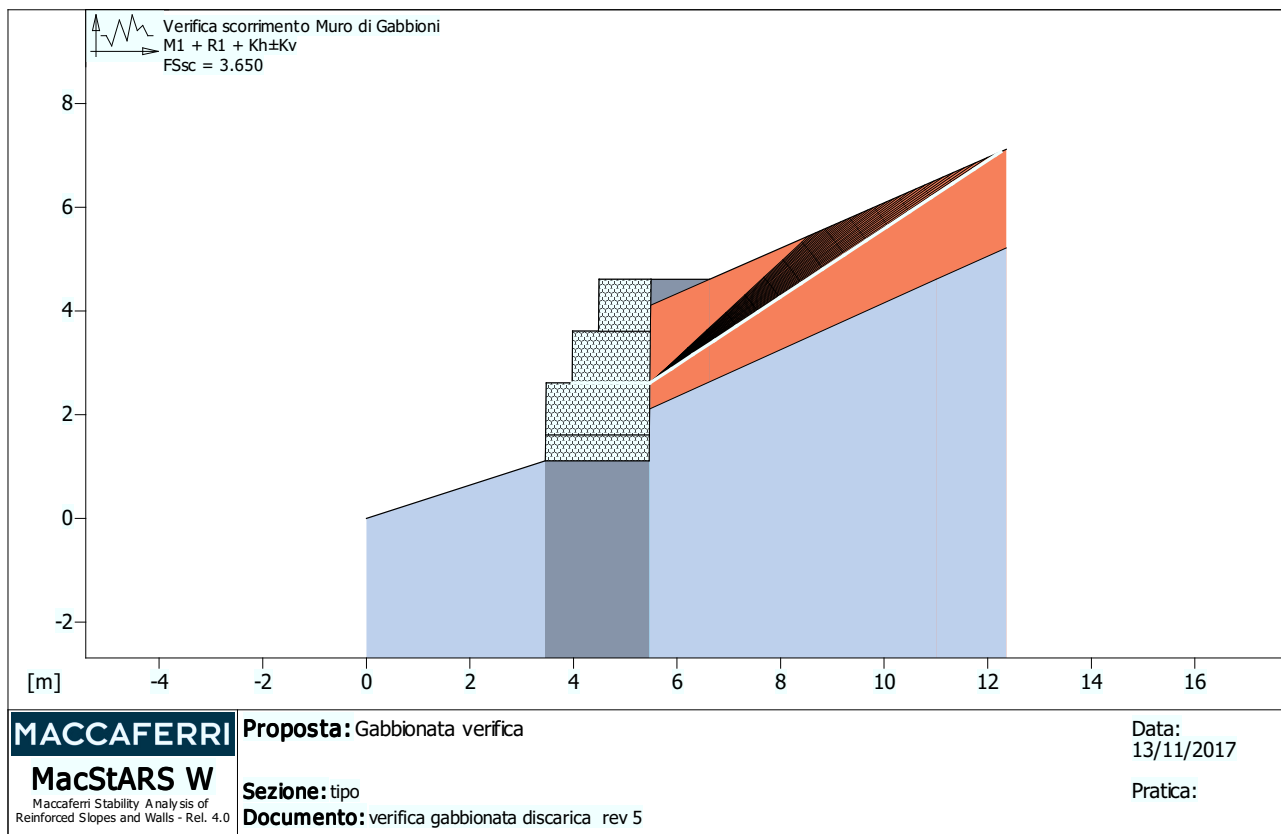
Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 96.36

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 40.77

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 2.363**

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.25    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.25    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.40    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Coeff. parziale R - Scorrimento                               |



### Verifica di resistenza interna :

Combinazione di carico : M1 + R1 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : GAB

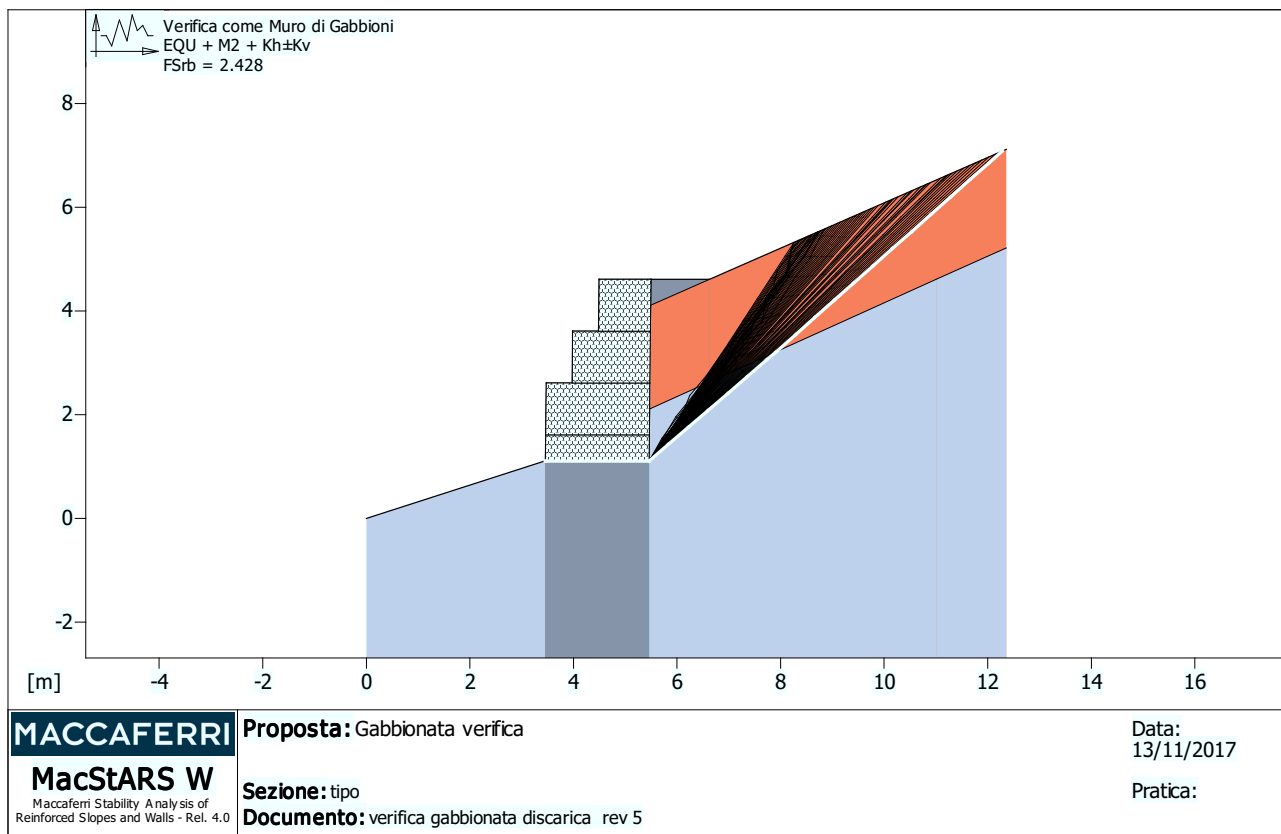
Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 75.10

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 20.57

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 3.650**

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.00    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Coeff. parziale R - Scorrimento                               |



### Verifica come muro di sostegno :

Combinazione di carico :  $EQU + M2 + Kh \pm Kv$

Stabilità verificata sul blocco : GAB

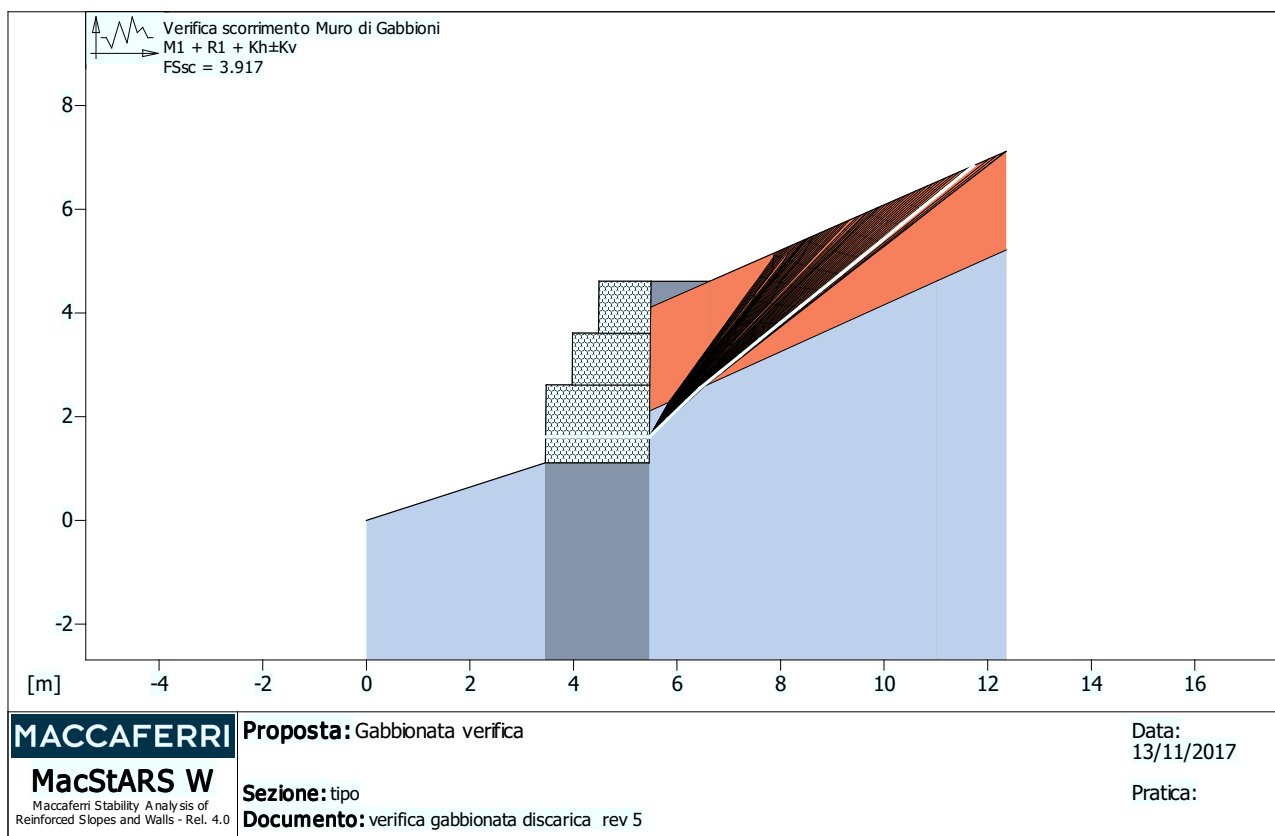
Momento Stabilizzante.....[kN\*m/m].....: 243.43

Momento Instabilizzante.....[kN\*m/m].....: 100.26

Classe momento.....: Coeff. parziale R - Ribaltamento

**Coefficiente di sicurezza al ribaltamento.....: 2.428**

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.25    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.25    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.40    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Coeff. parziale R - Ribaltamento                              |



### Verifica di resistenza interna :

Combinazione di carico : M1 + R1 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : GAB

Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 117.19

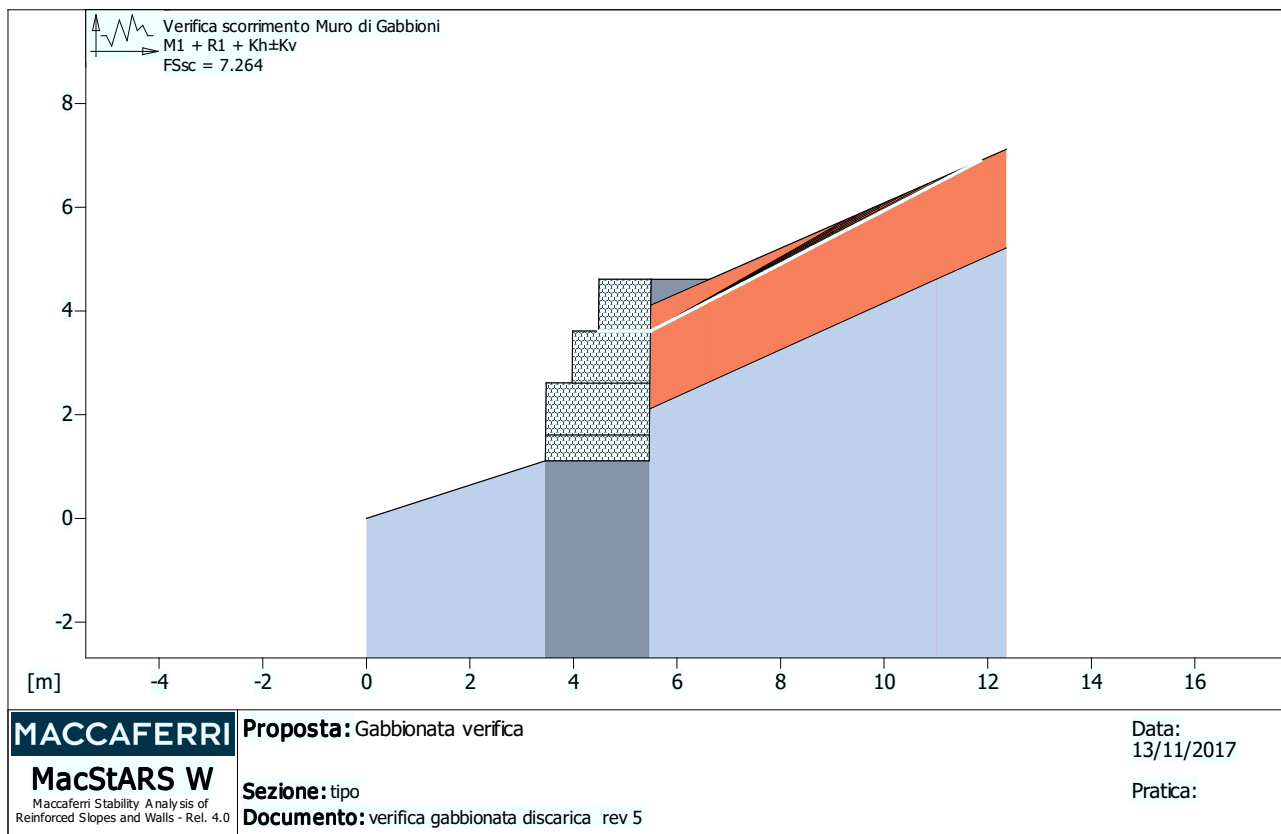
Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 29.92

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 3.917**

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.00    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Coeff. parziale R – Scorrimento                               |





### Verifica di resistenza interna :

Combinazione di carico : M1 + R1 + Kh±Kv

Stabilità verificata sul blocco : GAB

Forza Stabilizzante.....[kN/m].....: 33.89

Forza Instabilizzante.....[kN/m].....: 4.67

Classe scorrimento.....: Coeff. parziale R - Scorrimento

**Coefficiente di sicurezza allo scorrimento.....: 7.264**

| Fattore | Classe  |
|---------|---|
| 1.00    | Sisma   |
| 1.00    | Coeff. Parziale - tangente dell'angolo di resistenza a taglio |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Coesione efficace                           |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Resistenza non drenata                      |
| 1.00    | Coeff. Parziale - Peso dell'unità di volume - favorevole      |
| 1.00    | Coeff. parziale R - Scorrimento                               |

*Porto Sant'Elpidio, Aprile 2018*

*il tecnico incaricato*

*Dr. Massimo Basili*

ORDINE DEI GEOLOGI DELLA REGIONE MARCHE  
geologo specialista  
numero 277 albo sezione A (1989)



Il presente studio è stato redatto in collaborazione con i geologi:

**Fabio Del Moro e Diana Talamonti**