

**COMUNE DI TRAPANI**



**TRAPANI SERVIZI S.P.A.  
VIA DEL SERRO - C/DA BELVEDERE  
91100 TRAPANI**

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN LOTTO DI  
DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DENOMINATO "TPS1"  
PRESSO IL SITO DI CONTRADA BORRANEA NEL TERRITORIO  
DEL COMUNE DI TRAPANI**

**RELAZIONE GENERALE DI CALCOLO STABILITA' DEI PENDII  
PROGETTO ESECUTIVO**

Consulenza alla Progettazione



3 Periodico snc di Biondo, Gesani & Lattuca- Piazza Castelnuovo n° 42 - 90141 Palermo  
+39 091 5076934 - [www.3periodico.it](http://www.3periodico.it) - [info@3periodico.it](mailto:info@3periodico.it) - P.IVA e CF 05882310823

**ELABORATO  
R.12**

LUGLIO 2019

Rev.1 GIUGNO 2020

Rev.2 OTTOBRE 2020

**TRAPANI SERVIZI S.P.A.**  
L'Amministratore Unico  
(Ing. Carlo Maria Guarnotta)

**Il Progettista**  
Ing. Carlo Maria Guarnotta

### **Premessa**

Il calcolo per la verifica della stabilità dei pendii è stata realizzata seguendo le indicazioni della NTC 2018, analizzando tutte le possibili superfici di scorrimento che si possano verificare in funzione alla geometria ed alle caratteristiche meccaniche del suolo. Questi ultimi valori sono stati assunti pari a quelli indicati nella relazione geotecnica del progetto definitivo. Nelle sezioni dove non si generano superfici di scorrimento da verificare non si sono prodotti calcoli.

Nella prima parte del tabulato di calcolo sono presenti le analisi svolte solo con il terreno di riporto costipato, che portano ad un esito negativo della stabilità. Nella seconda parte vengono riportate le analisi con consolidamento mediante geogriglia, con esito positivo delle verifiche.

Nel campo della geotecnica è definita come opera in terra rinforzata o pendio rinforzato, una struttura atta al contenimento o alla stabilizzazione di una scarpata costituita, essa stessa, da terreno e da elementi di rinforzo di forma e materiale opportuno, capaci di assorbire sforzi di trazione. Tali elementi vengono di solito disposti lungo piani di posa orizzontali durante il riempimento e la compattazione del rilevato di terra, che avviene per strati successivi.

Così facendo, il regime di sollecitazioni che s'instaura nel rilevato strutturale con l'aumentare dei carichi, sono tali da mobilitare la resistenza a trazione del rinforzo in virtù della propria aderenza per attrito con il terreno.

Il terreno che costituisce il rilevato strutturale, invece, offrirà il suo contributo di resistenza alla compressione per effetto dei carichi verticali.

Nella progettazione di queste strutture è pertanto necessario individuare correttamente i meccanismi di rottura potenziali nel terreno al fine di valutare il contributo di stabilità offerto dalla presenza dei rinforzi.

Un corretto dimensionamento di una struttura in terra rinforzata implica pertanto una scelta corretta della lunghezza e della spaziatura verticale dei rinforzi necessarie a garantire la stabilità, noti che siano i parametri geotecnici del rilevato strutturale (angolo d'attrito, peso specifico) e le caratteristiche meccaniche dei rinforzi (carico di rottura, coeff. aderenza terreno).

I meccanismi di scivolamento schematizzati nel calcolo saranno in generale diversi secondo le caratteristiche dei rinforzi e soprattutto della geometria e della stratigrafia della scarpata.

**Normative di riferimento**

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 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.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

-Circolare al D.M. del 14/01/2008

-UNI EN 14475 - Esecuzione di lavori geotecnici speciali - Terra rinforzata

-UNI 10006 - Costruzione e manutenzione delle strade - Tecniche di impiego delle terre

-ASTM D 3282 - Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes

-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

-UNI EN 13285 - Miscele non legate - Specifiche

-UNI EN ISO 14688-1 - Indagini e prove geotecniche - Identificazione e classificazione dei terreni - Identificazione e descrizione

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018).

---

### Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio per un fronte di scavo deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore:

- a **1.20 in condizioni dinamiche**
- a **1.10 in condizioni statiche**

Il fattore di sicurezza è stato incrementato da 1.1 a 1.2 in condizioni sismiche per i pendii artificiali con l'entrata in vigore delle NTC2018. Per rispettare il fattore di sicurezza si sono dovuti inserire elementi, quali le geogriglie, che migliorino le caratteristiche meccaniche delle argille da utilizzare per i rilevati. In special modo si è scelto di utilizzare una geogriglia drenante, così da avere con un unico elemento sia un effetto di consolidamento meccanico sia l'effetto drenante delle argille così da mantenere costante le caratteristiche delle argille. Nel tabulato di calcolo si leggeranno prima le verifiche dei pendii senza l'introduzione delle geogriglie, poi si riportano le verifiche effettuate con l'introduzione delle geogriglie. I layer delle geogriglie vengono distanziate a 1 metro. Le geogriglie di progetto hanno una resistenza a trazione longitudinale pari a 100 kN/m ed una resistenza a trazione trasversale pari a 5 kN/m, con una maglia 425x50 mm.

Sarebbe opportuno trattare le superfici esterne dell'argine affinché si riduca la possibile erosione dovuta agli agenti atmosferici.

Per il calcolo viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

|                                     |                                                                     |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <i>l</i>                            | lunghezza della base della striscia                                 |
| <i>a</i>                            | angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale           |
| <i>b</i>                            | larghezza della striscia $b=l \times \cos(a)$                       |
| <i>f</i>                            | angolo di attrito lungo la base della striscia                      |
| <i>c</i>                            | coesione lungo la base della striscia                               |
| <i>g</i>                            | peso di volume del terreno                                          |
| <i>u</i>                            | pressione neutra                                                    |
| <b>W</b>                            | peso della striscia                                                 |
| <b>N</b>                            | sforzo normale alla base della striscia                             |
| <b>T</b>                            | sforzo di taglio alla base della striscia                           |
| <b>E<sub>s</sub>, E<sub>d</sub></b> | forze normali di interstriscia a sinistra e a destra                |
| <b>X<sub>s</sub>, X<sub>d</sub></b> | forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra            |
| <b>E<sub>a</sub>, E<sub>b</sub></b> | forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio |
| <b>DX</b>                           | variazione delle forze tangenziali sulla striscia $DX=X_d-X_s$      |
| <b>DE</b>                           | variazione delle forze normali sulla striscia $DE=E_d-E_s$          |

**N.B. nei Risultati analisi viene riportato il coefficiente di sicurezza minimo senza distinguere il calcolo in modalità dinamica e in modalità statica. Le verifiche negative sono evidenziate con il testo rosso.**

### Metodo di Fellenius (metodo svedese)

Il coefficiente di sicurezza fornito da **Fellenius** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{S_i \left( \frac{c_i b_i}{\cos a_i} + [W_i \cos a_i - u_i l_i] \operatorname{tg} f_i \right)}{S_i W_i \sin a_i}$$

dove **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **a<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>** e **c<sub>i</sub>** e **f<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia.

Inoltre **u<sub>i</sub>** ed **l<sub>i</sub>** rappresentano la pressione neutra lungo la base della striscia e la lunghezza della base della striscia (**l<sub>i</sub> = b<sub>i</sub>/cos a<sub>i</sub>**).

Quindi, assunto un cerchio di tentativo lo si suddivide in **n** strisce e dalla formula precedente si ricava **F**. Questo procedimento viene eseguito per il numero di centri prefissato e viene assunto come coefficiente di sicurezza del pendio il minimo dei coefficienti così determinati.

### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{S_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(a_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} f_i}{m} \right)}{S_i W_i \sin a_i}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} f_i \operatorname{tg} a_i}{F} \right) \cos a_i$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **a<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **c<sub>i</sub>** e **f<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u<sub>i</sub>** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

#### Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{S [ c_i b_i + (N_i / \cos(a_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} f_i ]}{S_i [ W_i \tan a_i ]}$$

dove il termine **N<sub>i</sub>** è espresso da

$$N_i = [ W_i - c_i l_i \sin a_i / h + u_i l_i \tan f \sin a_i / F ] / m$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \cos a + (\sin a \tan f) / F$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **a<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **c<sub>i</sub>** e **f<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u<sub>i</sub>** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto. La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

#### Metodo di Janbu (completo)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu completo** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{S_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - DX_i - u_i l_i) \operatorname{tg} f}{1 + (\tan a_i \tan f) / F} \right) (1 + \tan^2 a_i)}{(E_a - E_b) S_i (W_i - DX_i) \tan a_i}$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **a<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **c<sub>i</sub>** e **f<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u<sub>i</sub>** è la pressione neutra lungo la base della striscia, **E<sub>a</sub>** ed **E<sub>b</sub>** rappresentano le eventuali forze orizzontali agli estremi della superficie di scorrimento analizzata, **DX<sub>i</sub>** è la variazione delle forze di taglio di interstriscia. La soluzione del problema avviene per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nel secondo membro

dell'espressione in modo da determinare un secondo valore dall'espressione. L'iterazione va avanti finquando i valori del coefficiente calcolati in due passi di iterazione successivi risultano coincidenti.

### Metodo di Bell

Bell suppone nota l'andamento della pressione normale lungo la superficie di rottura ed assume per la  $s_i$  la seguente espressione

$$s_i = C_1(1-K_y)W_i \cos a_i / l_i + C_2 f(x,y)$$

La funzione  $f(x,y)$  è espressa in funzione delle coordinate della striscia

$$f(x,y) = \sin 2p \frac{x_n - x_i}{x_n - x_0}$$

Per pareggiare il numero delle equazioni con il numero delle incognite introduce l'ulteriore incognita  $C_3$  come moltiplicatore della coesione. Tale incognita dovrà essere in soluzione pari all'unità. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bell** si ottiene dalla risoluzione del seguente sistema di equazioni non lineari, nelle incognite  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ , ottenuto scrivendo l'equilibrio dell'intera massa alla traslazione orizzontale, verticale ed alla rotazione:

$$\begin{aligned} M_{11} C_1 + M_{12} C_2 + M_{13} C_3 &= V_1 \\ M_{21} C_1 + M_{22} C_2 + M_{23} C_3 &= V_2 \\ M_{31} C_1 + M_{32} C_2 + M_{33} C_3 &= V_3 \end{aligned}$$

dove i coefficienti del sistema si ricavano dalle equazioni di equilibrio e valgono:

$$\begin{aligned} M_{11} &= (1 - K_y) [S_i W_i \cos^2 a_i \operatorname{tg} f_i - F S_i \cos a_i \sin a_i] \\ M_{12} &= S_i f_i b_i \operatorname{tg} f_i - F S_i f_i b_i \operatorname{tg} a_i \\ M_{13} &= S_i c_i b_i \\ M_{21} &= (1 - K_y) [S_i W_i \cos a_i \sin a_i \operatorname{tg} f_i + F S_i W_i \cos^2 a_i] \\ M_{22} &= S_i f_i b_i \operatorname{tg} a_i \operatorname{tg} f_i + F S_i f_i b_i \\ M_{23} &= S_i c_i b_i \operatorname{tg} a_i \\ M_{31} &= (1 - K_y) [S_i (W_i \cos^2 a_i \operatorname{tg} f_i) y_{ci} + S_i (W_i \cos a_i \sin a_i \operatorname{tg} f_i) x_{ci}] + F [S_i (W_i \cos^2 a_i) x_{ci} - S_i (W_i \cos a_i \sin a_i) y_{ci}] \\ M_{32} &= S_i (f_i b_i \operatorname{tg} f_i) y_{ci} + S_i (f_i b_i \operatorname{tg} a_i \operatorname{tg} f_i) x_{ci} - F [S_i (f_i b_i \operatorname{tg} a_i) y_{ci} + S_i (f_i b_i) x_{ci}] \\ M_{33} &= S_i (c_i b_i) y_{ci} + S_i (c_i b_i \operatorname{tg} a_i) x_{ci} \\ V_1 &= S_i u_i b_i \operatorname{tg} f_i + F (K_x S_i W_i - X) \\ V_2 &= S_i u_i b_i \operatorname{tg} a_i \operatorname{tg} f_i + F [(1 - K_y) S_i W_i + Z] \\ V_3 &= S_i (u_i b_i \operatorname{tg} f_i) y_{ci} + S_i (u_i b_i \operatorname{tg} a_i \operatorname{tg} f_i) x_{ci} + F [K_x S_i W_i y_{cgi} + (1 - K_y) S_i W_i x_{cgi} - X y_x - Z x_y] \end{aligned}$$

La ricerca del fattore di sicurezza avviene operando sul coefficiente  $C_3$ . Si comincia da due valori di  $F$  che individuano un intervallo all'interno del quale si può ritenere sia compreso il coefficiente di sicurezza soluzione del problema. Risolvendo il sistema si ricavano i due corrispondenti valori di  $C_3$  e quindi si reitera prendendo come nuovo valore quello derivante dall'interpolazione:

$$F = F_f + \frac{1 - C_{3f}}{C_{3f} - C_{3i}} (F_f - F_i)$$

dove gli indici **i** ed **f** stanno rispettivamente per iniziale e finale. L'iterazione si può fermare quando la differenza tra l'ultimo **F** ricavato ed il penultimo è abbastanza piccola, oppure quando la differenza di **C<sub>3</sub>** dall'unità può essere ritenuta trascurabile.

#### Metodo di Morgenstern e Price

Nel metodo **Morgenstern e Price** le forze normali e tangenziali di interstriscia sono legate fra di loro dalla relazione

$$X = l f(x) E$$

dove **f(x)** è una funzione di forma definita in modo che  $|f(x)| \leq 1$  e **l** è un parametro scalare che si ricava dal processo di soluzione.

Il coefficiente si ottiene dalla risoluzione del seguente sistema di equazioni differenziali:

$$\frac{dE}{dx} (Kx + L) + KE = Nx + P$$

$$X = \frac{dE}{dx} y - \frac{d}{dx} (E y_t)$$

le cui condizioni al contorno sono:

$$E(x) = E_a \quad \text{quando } x = x_0$$

$$E(x) = E_b \quad \text{quando } x = x_n$$

$$M = E(y - y_t) = 0 \quad \text{da } x_0 \text{ a } x_n$$

I termini del sistema sono dati da:

$$K = l k \left( \frac{\tan \phi}{F} + A \right)$$

$$L = l m \left( \frac{\tan \phi}{F} + A \right) + A \frac{\tan \phi}{F} - 1$$

$$N = p \left[ A + \frac{\tan \phi}{F} - r_u (1 + A^2) \frac{\tan \phi}{F} \right]$$

$$P = q \left[ A + \frac{\text{tg } f}{F} - r_u(1 + A^2) \frac{\text{tg } f}{F} \right] + \frac{c}{F} [1 + A^2]$$

nelle quali **k** ed **m** sono i due parametri assegnati striscia per striscia per definire il rapporto tra la risultante delle forze tangenziali, **X**, all'interfaccia e quella delle pressioni normali, **E**, mentre la variabile **I** è introdotta per pareggiare il numero delle equazioni e quello delle incognite oltre che utile per tarare la funzione lineare tra le forze di interstriscia **X** ed **E**.

Nella formulazione di **Morgenstern-Price**, il peso e la superficie di scorrimento, sono espresse come funzioni lineari della *x*.

Inoltre il termine **r<sub>u</sub>** è il coefficiente adimensionale che tiene conto della pressione neutra ed è definito dalla relazione: **r<sub>u</sub> = u<sub>w</sub>/W b**.

Lo schema iterativo che permette di determinare il coefficiente di sicurezza è il seguente:

si assegnano due valori ad **F** ed a **I**;

si calcolano **M<sub>i</sub>** ed **E<sub>i</sub>** dalle equazioni riportate;

si calcolano **dI** e **dF**;

si incrementano **I = I + dI** ed **F = F + dF**;

si controlla la convergenza nel qual caso si ferma l'iterazione altrimenti si torna al punto **2**.

dove gli incrementi per **I** ed **F** sono espressi da:

$$dI = \frac{M_n \frac{dE_n}{dF} - E_n \frac{dM_n}{dF}}{\frac{dE_n}{dI} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{dI} \frac{dE_n}{dF}}$$

$$dI = \frac{E_n \frac{dM_n}{dF} - M_n \frac{dE_n}{dF}}{\frac{dE_n}{dI} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{dI} \frac{dE_n}{dF}}$$

dove **M<sub>n</sub>** ed **E<sub>n</sub>** sono i valori di **M** ed **E** all'ultima striscia.

### Metodo di Spencer

Il metodo di Spencer opera sulle risultanti delle forze di interstriscia **Z**. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Spencer** viene determinato con procedura iterativa sulle equazioni di equilibrio alla traslazione e alla rotazione globali. Queste equazioni, nel caso di risultante delle forze esterne nulle, sono date da:

$$\begin{aligned} S_i [DZ_i \cos q_i] &= 0 \\ S_i [DZ_i \sin q_i] &= 0 \\ S_i [R DZ_i \cos (a_i - q_i)] &= 0 \end{aligned}$$

dove **DZ<sub>i</sub>** rappresenta la variazione della forza laterale di interstriscia risultante che ha equazione:

$$DZ_i = \frac{W_i \sin a_i - \frac{c b_i}{F \cos a_i} - (W_i \cos a_i - N_{bi}) \frac{\tan f}{F}}{\cos(a_i - q_i) \left[ \tan(a_i - q_i) \frac{\tan f}{F} + 1 \right]}$$

L'ipotesi assunta da **Spencer** è che le forze laterali di interstriscia siano tutte tra loro parallele. Cioè si suppone che il loro angolo di inclinazione sia **q = cost.**

Attraverso questa ipotesi le equazioni alla traslazione si riducono ad un'unica equazione dalla forma:

$$S_i [DZ_i] = 0$$

Inoltre l'ipotesi di superfici di scorrimento circolari permette di semplificare anche l'equazione di equilibrio alla rotazione nella forma seguente:

$$S_i [DZ_i \cos (a_i - q_i)] = 0$$

A questo punto la determinazione del coefficiente di sicurezza viene effettuata risolvendo iterativamente e separatamente le due ultime equazioni viste per un assegnato valore di **q<sub>i</sub>**; in questo modo si otterrà una coppia di coefficienti di sicurezza **F<sub>f</sub>** ed **F<sub>m</sub>** di cui il primo soddisfa l'equilibrio alla traslazione, mentre il secondo soddisfa l'equilibrio alla rotazione.

Questi valori non sono generalmente uguali. Si possono costruire per punti le curve **F = F<sub>f</sub>(q)** ed **F = F<sub>m</sub>(q)** si può ricavare il valore di **q** tale che risulti:

$$F = F_f = F_m$$

Riguardo ai valori di **F** e di **q** si può affermare che **F<sub>finale</sub>** ha un valore prossimo a quello ricavato nell'equazione di equilibrio alla rotazione ponendo **q = 0**; mentre il valore di **q** è sempre compreso tra **0** e la massima inclinazione del pendio.

### Metodo di Sarma

Il metodo di **Sarma** permette di determinare un determinato valore per un'accelerazione orizzontale uniforme che sarà la causa del cedimento del pendio (accelerazione critica **k**).

Per determinare un coefficiente di sicurezza ordinario, si opera riducendo i parametri di resistenza del terreno fino a quando si richiede un fattore di accelerazione orizzontale pari a zero.

Le equazioni da prendere in considerazione sono: l'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale nonché l'equazione di equilibrio dei momenti. Di seguito vengono riportate le equazioni. Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos a_i + T_i \sin a_i &= W_i - DX_i \\ T_i \cos a_i - N_i \sin a_i &= k W_i + DE_i \end{aligned}$$

Dalla prima di questa relazione insieme al criterio di Mohr-Coulomb, che mette in relazione le forze **N** e **T**:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan f_i + c_i b_i / \cos a_i$$

si ottiene l'espressione per la sostituzione di entrambe le forze **N** e **T** nella seconda equazione cioè:

$$N_i = \frac{(W_i - DX_i - c_i b_i \tan a_i + U_i \tan f_i \sin a_i) \cos f_i}{\cos a_i \cos f_i + \sin f_i \sin a_i}$$

La seconda equazione diventa:

$$T_i = \frac{(W_i - DX_i - U_i \cos a_i) \sin f_i - c_i b_i \cos a_i}{\cos a_i \cos f_i + \sin f_i \sin a_i}$$

la quale fornisce un'espressione per la massima forza sismica orizzontale che può essere sopportata **kW<sub>i</sub>** che è la seguente:

$$kW_i = D_i - DE_i - DX_i \tan (f_i - a_i)$$

nella quale **D<sub>i</sub>** ha l'espressione:

$$D_i = W_i \tan (f_i - a_i) + \frac{c_i b_i \cos f_i / \cos a_i + U_i \sin f_i}{\cos f_i \cos a_i + \sin f_i \sin a_i}$$

Tutte le grandezze contrassegnate con il pedice **i** sono da intendersi riferite alla striscia **i-esima**. A questo punto i valori ottenuti per tutte le strisce possono essere sommati per ottenere la forza sismica orizzontale totale **kSW<sub>i</sub>**. Fatto ciò si trova che la somma **SDE** deve essere nulla. Anche **SDX** deve esserlo, ma quando i termini individuali vengono moltiplicati per un diverso coefficiente si ottiene un risultato diverso da zero. Quindi:

$$SDX_i \tan (f_i - a_i) + SkW_i = SD_i \quad (\mathbf{A})$$

L'espressione dell'equilibrio del momento rispetto al centro di gravità della massa che scivola è data da:

$$S(T_i \cos a_i - N_i \sin a_i)(y_i - y_g) + S(N_i \cos a_i + T_i \sin a_i)(x_i - x_g) = 0$$

Nell'espressione **x<sub>i</sub>** ed **y<sub>i</sub>** sono le coordinate del punto medio della base della striscia.

Con la scelta del punto al quale è riferita l'espressione dei momenti, si annullano le somme di **W** e **KW**. Inoltre le forze di interstriscia non danno momento.

La condizione del momento, tenendo conto dell'espressione (**A**) e della relazione di Mohr-Coulomb, può essere riscritta come:

$$SDX_i[(y_i - y_g) \tan (f_i - a_i) + (x_i - x_g)] = SW_i (x_i - x_g) + SD_i (y_i - y_g)$$

**Sarma** definisce ogni **DX** nella forma:

$$DX = ly_i$$

in cui **y<sub>i</sub>** è noto e **Sy<sub>i</sub> = 0**.

A questo punto le due equazioni che permettono la soluzione del problema sono:

$$\begin{aligned} lSy_i \tan (f_i - a_i) + k SW_i &= SD_i \\ lSy_i [(y_i - y_g) \tan (f_i - a_i) + (x_i - x_g)] &= SW_i (x_i - x_g) + SD_i (y_i - y_g) \end{aligned}$$

Da queste due equazioni si ricavano:

$$\begin{aligned} l &= \frac{SW_i (x_i - x_g) + SD_{bi} (y_i - y_g)}{Sy_i [(y_i - y_g) \tan (f_i - a_i) + (x_i - x_g)]} \\ k &= \frac{(SD_i - lSy_{bi} \tan (f_i - a_i))}{SW_i} \end{aligned}$$

La funzione **y** viene definita da **Sarma** in funzione delle caratteristiche del terreno e dello stato tensionale locale lungo le interfacce delle strisce.

#### Metodo di Maksimovic

Nel metodo **Maksimovic** le forze normali e tangenziali di interstriscia sono legate fra di loro dalla relazione

$$X = l f(x) E$$

dove **f(x)** è una funzione di forma definita in modo che  $|f(x)| \leq 1$  e **l** è un parametro scalare che si ricava dal processo di soluzione.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Maksimovic** si ottiene risolvendo il seguente sistema di equazioni non lineari nelle incognite **l** ed **F** :

$$\begin{aligned} E_d(1+a_d) &= E_s(1+a_s) - (1/F) u b(1-a \operatorname{tga}) + (1/F) c b(1-a \operatorname{tga}) + H + aV \\ R_d &= R_s - (b/2) \operatorname{tga}(E_d + E_s) - (b/2) l(f_d E_d + f_s E_s) + H h_h \end{aligned}$$

le cui condizioni al contorno sono:

$$E(0) = E_a \quad \text{quando } x = x_0$$

$E(n) = E_b$  quando  $x = x_n$

In queste espressioni:

$c$  ed  $u$  coesione e pressione neutra alla base della striscia

$H$  ed  $h_h$  risultante delle forze orizzontali e relativo punto di applicazione

$V$  risultante delle forze verticali

$E_s, E_d$  forze normali di interstriscia a sinistra ed a destra

$f_s, f_d$  valori della funzione  $f(x)$  a sinistra ed a destra

mentre il parametro  $a$  è definito come

$$a = (\tan \phi / F - \tan \alpha) / (1 + \tan \phi / F \tan \alpha)$$

Il processo di soluzione consiste nel risolvere il sistema di equazioni a partire da una coppia di valori  $F_0, l_0$  ed iterando mediante uno schema alla Newton-Raphson fino ad ottenere i valori di convergenza

$$dl = \frac{M_n \frac{dE_n}{dF} - E_n \frac{dM_n}{dF}}{\frac{dE_n}{dl} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{dl} \frac{dE_n}{dF}}$$

$$dF = \frac{E_n \frac{dM_n}{dF} - M_n \frac{dE_n}{dF}}{\frac{dE_n}{dl} \frac{dM_n}{dF} - \frac{dM_n}{dl} \frac{dE_n}{dF}}$$

## **1. PROGETTO DI CONSOLIDAMENTO CON GEOGRIGLIA - MATERIALI IMPIEGATI**

### **Geocomposito**

La geogriglia di rinforzo in fibre di poliestere ad alta resistenza è in grado di consolidare il terreno, all'interno del quale viene stesa, tramite allontanamento dell'acqua in eccesso. I singoli nastri che costituiscono il rinforzo sono sagomati, in fase di produzione, in modo tale da assumere in sezione una forma ad omega. Durante il processo di produzione viene poi inserita, per termosaldatura, una sottile striscia di geotessuto come chiusura inferiore della sezione ad omega dando vita ad un canale di drenaggio preferenziale all'interno del prodotto stesso. Una volta arrivato in cantiere, il rotolo di geogriglia viene steso con la striscia bianca di geotessuto rivolta verso l'alto al fine di catturare quanta più acqua in eccesso presente nel terreno e convogliarla all'interno dei canali dove scorrerà fino al paramento della struttura in terra rinforzata.

La geogriglia drenante quindi offre numerosi vantaggi fra cui:

- funzione di rinforzo e consolidamento tramite drenaggio in un singolo prodotto;
- possibilità di impiegare terreno saturo come materiale di riempimento;
- possibilità di riutilizzare terreni argillosi e limosi provenienti da scavi;
- garantisce il mantenimento delle condizioni di drenaggio ottimali all'interno del rilevato;
- è ideale in contesti caratterizzati da frequenti precipitazioni.

Un terreno con elevata componente argillosa o limosa in condizioni sature o prossime alla saturazione quando viene compattato o caricato genera un eccesso di pressioni interstiziali all'interno del rilevato. Questo eccesso di pressioni interstiziali riduce la resistenza disponibile e l'interazione tra il rinforzo e il terreno. Ricerche scientifiche (Zornburg & Mitchell, 1994) e l'osservazione sul lungo periodo di opere realizzate (Inada et. al., 1978 and Fukuoka, 1998) ha dimostrato che i terreni coesivi possono essere impiegati nella realizzazione di terre rinforzate con adeguati sistemi di drenaggio interni che contribuiscano a dissipare la pressione idraulica in eccesso. L'inserimento dei nastri "drenanti" del geocomposito drenante con un interasse longitudinale ridotto (tra i 4 e i 5 cm in funzione della resistenza) e una spaziatura verticale di 60 cm rappresenta uno dei più efficaci sistemi in questo campo, contribuendo ad accelerare il consolidamento del terreno favorendone l'espulsione dell'acqua con una fitta diffusione spaziale dei canali di drenaggio interno. Inoltre, l'interazione del terreno coesivo con la geogriglia diventa più efficace proprio grazie al drenaggio interno, diversi test di laboratorio hanno dimostrato questa caratteristica.

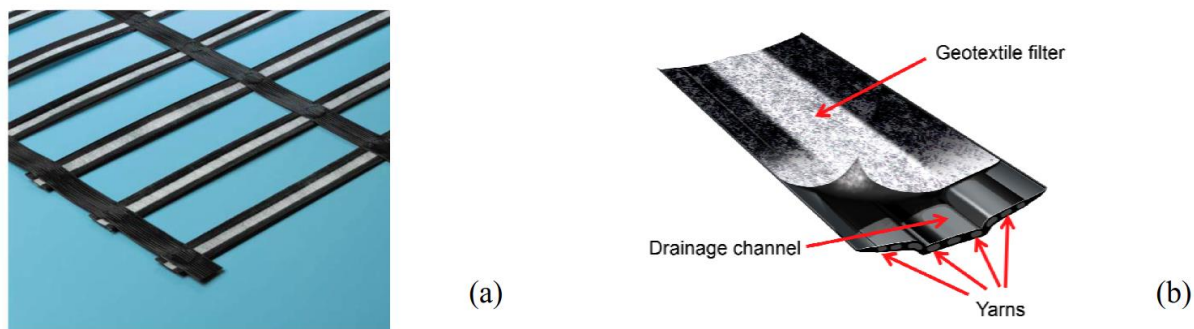


Figura 1: – *Geocomposito tipo Paradrain (a) e dettaglio del singolo nastro longitudinale (b).*

### Caratteristiche del prodotto

I rinforzi previsti per la realizzazione dei muri in terra rinforzata sono costituiti da geogriglie del tipo "Paradrain". Queste geogriglie sono costituite da due ordini di nastri tra loro saldati ortogonalmente così da ottenere una struttura di rinforzo a "griglia". I nastri, come descritto in precedenza, hanno al loro interno un canale di drenaggio preferenziale e sono costituiti da filamenti di poliestere ad alta tenacità allineati ed incapsulati in una guaina protettiva di rivestimento di polietilene (LDPE). L'aggiunta di una striscia di geotessuto bianco permette al terreno di non intasare il canale e allo stesso tempo all'acqua di infiltrarsi all'interno per essere allontanata.

Le caratteristiche meccaniche delle geogriglie previste in progetto sono riportate nella tabella di seguito:

| geogriglia                                           | 100  |
|------------------------------------------------------|------|
| resistenza a trazione longitudinale (kN/m)           | 100  |
| resistenza singolo nastro longitudinale (kN/m)       | 7.5  |
| resistenza a trazione trasversale (kN/m)             | 5    |
| allungamento a rottura nelle due direzioni (v.medio) | ≤10% |

*N.B. per la capacità drenante della griglia si veda la scheda tecnica di riferimento*

## **2. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE**

I terreni caratterizzati da alto contenuto di materiali fini quali argille sono caratterizzati da una bassa permeabilità. Quando questi tipi di terreni sono caricati con un carico verticale, si genera un eccesso di pressione interstiziale che deve essere intercettata e ridotta al fine di favorire la consolidazione del terreno. Per questo motivo si utilizza un sistema di drenaggio e rinforzo incorporato nel rilevato, ovvero le geogriglie drenanti tipo Paradrain.

La dissipazione della sovrappressione interstiziale è governata da 3 aspetti:

- Permeabilità del suolo (K), che determina i tempi richiesti dal sistema per la dissipazione.
- La lunghezza del canale di drenaggio (B) e quindi la distanza che l'acqua deve percorrere per poter raggiungere il punto di uscita dal corpo del rilevato
- La capacità del Sistema di raccolta delle acque rispetto le venute naturali del corpo del rilevato (Trasmissività idraulica della geogriglia tipo ParaDrain:  $\theta_L$ ).

Il tempo per la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali può essere calcolato utilizzando il coefficiente di consolidazione,  $C_v$ .

I valori di  $C_v$  possono essere determinati da prove edometriche sul terreno da rilevato

In generale i valori di  $C_v$  variano in accordo al carico verticale, riducendosi all'aumento delle tensioni efficaci.

La dissipazione delle pressioni interstiziali risulta in un cedimento verticale ed orizzontale del terreno, che deve essere tenuto in considerazione in fase di progettazione.

I risultati attesi dei cedimenti possono essere stimati utilizzando il coefficiente di compressibilità di volume  $m_v$ .

Valori di  $m_v$  possono essere determinati con prove edometriche sul terreno da rilevato

In generale i valori di  $m_v$  variano in accordo al carico verticale.

I coefficienti di consolidazione  $C_v$  e di compressibilità di volume  $m_v$  sono legati alla permeabilità del terreno (K) con la seguente equazione:

$$K = \gamma_w \cdot C_v \cdot m_v$$

dove

$\gamma_w$  = peso specifico dell'acqua;

Dimensioni dei parametri

- K (m/s),
- $\gamma_w$  (9,81 N/m<sup>3</sup>),
- $C_v$  (m<sup>2</sup>/s),
- $m_v$  (m<sup>2</sup>/N).

Il dimensionamento della struttura è stato condotto sulla base dei dati forniti da relazione geologica e dal progetto definitivo secondo gli Stati Limite Ultimi (SLU - SLV) sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 6 – sono stati applicati coefficienti parziali ai carichi, ai parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo).

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione, verifica di Capacità Portante della Fondazione e verifica a Ribaltamento della Struttura si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: A1+M1+R3 (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

In accordo con le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018 - capitolo 7.11 – sono state condotte anche le verifiche in condizioni sismiche applicando i coefficienti parziali dei parametri geotecnici ed alle resistenze (come definiti nel capitolo successivo), mentre i coefficienti parziali dei carichi sono stati posti pari ad 1.

Per quanto riguarda la stabilità globale si è utilizzato l'Approccio 1 Combinazione 2: M2+R2+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda le verifiche agli SLU di tipo geotecnico (GEO) cioè per le Verifiche Esterne a Scorrimento della Fondazione, verifica di Capacità Portante della Fondazione e verifica a Ribaltamento della Struttura si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno).

Per quanto riguarda invece le verifiche agli SLU di tipo strutturale (STR) (NTC2018 par. 6.5.3.1.1 Muri di sostegno), per le Verifiche di resistenza degli elementi strutturali si è utilizzato l'Approccio 2: M1+R3+kh±kv.

### 3. COEFFICIENTI DI SICUREZZA PARZIALI

Il progetto strutturale e geotecnico delle opere in esame sarà condotto in conformità alle indicazioni del D.M. 17/01/2018 (rif. Cap. 6 e Cap. 7).

| Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI DI RESISTENZA $\gamma_R$ |      |       |      |       |
|--------------------------------------------------------------|------|-------|------|-------|
| $R_d = R_k / \gamma_R$                                       | R2   | R2(*) | R3   | R3(*) |
| Stabilità                                                    | 1,10 | 1,20  | 1,00 | 1,20  |
| Scorrimento - Slittamento per attrito                        | 1,00 | 1,00  | 1,10 | 1,00  |
| Ribaltamento                                                 | 1,00 | 1,00  | 1,15 | 1,00  |

**TRAPANI SERVIZI S.P.A.**

PROGETTO DI REALIZZAZIONE LOTTO DI DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI "TPS1"

C/DA BORRANEA – TRAPANI

|                                                      |             |             |             |             |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Capacità portante della<br>Fondazione - Punzonamento | <b>1,00</b> | <b>1,00</b> | <b>1,40</b> | <b>1,20</b> |
|------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|

| <b>Coefficienti PARZIALI DEI PARAMETRI GEOTECNICI <math>\gamma_M</math></b> |             |              |             |              |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                                                                             | <b>M1</b>   | <b>M1(*)</b> | <b>M2</b>   | <b>M2(*)</b> |
| Peso unità di volume ( $\gamma_r$ )                                         | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  |
| Angolo di attrito $\tan\Phi'_k$ ( $\gamma_{\Phi'}$ )                        | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,25</b> | <b>1,00</b>  |
| Coesione efficace $c'_k$ ( $\gamma_c$ )                                     | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,25</b> | <b>1,00</b>  |
| Resistenza non drenata $c_{uk}$ ( $\gamma_{cu}$ )                           | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,40</b> | <b>1,00</b>  |

| <b>Coefficienti PARZIALI DELLE AZIONI <math>\gamma_F</math></b>                                                                            |             |             |              |             |              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
|                                                                                                                                            |             | <b>A1</b>   | <b>A1(*)</b> | <b>A2</b>   | <b>A2(*)</b> |
| <u><b>PERMANENTI:</b></u><br><br>(Pesi, spinte geostatiche del terreno; sovraccarichi permanenti)<br><br><b>(<math>\gamma_{G1}</math>)</b> | Favorevole  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  |
|                                                                                                                                            | Sfavorevole | <b>1,30</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,00</b> | <b>1,00</b>  |
| <u><b>VARIABILI:</b></u><br><br>(sovraccarichi variabili; sisma; spinte relative indotte)<br><br><b>(<math>\gamma_{Qi}</math>)</b>         | Favorevole  | <b>0,00</b> | <b>1,00</b>  | <b>0,00</b> | <b>1,00</b>  |
|                                                                                                                                            | Sfavorevole | <b>1,50</b> | <b>1,00</b>  | <b>1,30</b> | <b>1,00</b>  |

(Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 6.2.I, Tab. 6.2.II, Par. 7.11.6.2.2 e Par. 7.11.4)

Nota:

Coefficienti parziali dei carichi e delle spinte (i carichi permanenti non strutturali sono assimilati ai sovraccarichi permanenti in quanto compiutamente definiti).

I coefficienti parziali di riduzione delle prestazioni dei rinforzi definiti nel report di calcolo del software freeware MacStars W sono definiti come "Fs Rottura Rinforzi" e "Fs Sfilamento Rinforzi" sono posti pari all'unità poiché non definiti nelle "Nuove Norme Tecniche 2018".

**(\*)** condizioni sismiche: nel caso di verifiche sismiche i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici vengono posti pari all'unità (Rif. 7.11.6.2.2 del D.M. 17/01/2018).

#### **4. IPOTESI DI CALCOLO**

- Comune di costruzione o coordinate topografiche: Trapani
- Vita nominale dell'opera -  $V_N$  (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 2.4.I) 50 anni
- Coefficiente d'uso -  $C_U$  (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 2.4.II) Classe III
- Categoria del Sottosuolo (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 3.2.II e tab. 3.2.IV) C
- Categoria Topografica (Rif. D.M. 17/01/2018 Tab. 3.2.III e Tab. 3.2.V) T1

La caratterizzazione geomeccanica dei terreni è riportata negli allegati di calcolo.

Si è considerato agente un sovraccarico accidentale pari a 20 kPa.

Per le verifiche sismiche il sovraccarico accidentale dovuto al transito di mezzi viene moltiplicato per il fattore  $\psi_{2j} = 0.2$  in accordo con D.M. 17/01/2018 cap. 5.1.3.12.

Il calcolo effettuato con il sw MacStARS W ha tenuto conto del Coefficiente d'uso classe III con questi valori si sono progettati i blocchi rinforzati con geogriglia. Nell'elaborato tabulato i calcoli effettuati con il sw Aztec Informatica s.r.l. tendono a dimostrare come non verifichi il pendio in assenza di geogriglie già con la classe d'uso II.

Il calcolo viene inoltre eseguito tenendo conto delle azioni sismiche dell'area oggetto del progetto secondo con quanto prescritto da D.M. 17/01/2018 per cui:

Accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido:  $a_g/g = 0,072$

Coefficiente di sottosuolo:  $S = S_s \times S_t = 1,5$

Coefficiente di riduzione:  $\beta_m = 0,38$  (valore riferito allo stato limite ultimo SLV);

Coefficiente sismico orizzontale  $k_h$ :  $= S \times a_g/g \times \beta_m = 1,5 \times 0,072 \times 0,38 = 0,041$

Coefficiente sismico verticale  $k_v$ :  $= k_h / 2 = \pm 0,021$

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.

|                                            |                         |                                       |                        |                         |
|--------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| <b>DATI<br/>GEOTECNICI</b>                 | <b>Rifiuti</b>          | $\gamma_1 = 12 \text{ kN/m}^3$        | $\varphi_1 = 25^\circ$ | $c'_1 = 10 \text{ kPa}$ |
|                                            | <b>Terreno in sito</b>  | $\gamma_2 = 19 \text{ kN/m}^3$        | $\varphi_2 = 24^\circ$ | $c'_2 = 6 \text{ kPa}$  |
|                                            | <b>Terreno di scavo</b> | $\gamma_3 = 19 \text{ kN/m}^3$        | $\varphi_3 = 24^\circ$ | $c'_3 = 0 \text{ kPa}$  |
| <b>CARICHI<br/>ACCIDENTALI<br/>ESTERNI</b> | <b>Dinamico</b>         | 20 kPa (4 kPa in condizioni sismiche) |                        |                         |
|                                            | <b>Sismico</b>          | $K_h = 0,041$<br>$K_v = 0,021$        |                        |                         |

La veridicità 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. La verifica di stabilità globale è a cura del progettista generale dell'opera in quanto influenzata dalle opere di sostegno previste a monte e a valle della stessa.

## 5. METODO DI CALCOLO

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati viene condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante un programma di calcolo denominato MacStars W in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento.

Il software Macstars W è stato validato come software di calcolo ed il codice in esso implementato soddisfa le verifiche come da NTC. Per tale motivo gli elaborati sviluppati possono essere parte della documentazione depositabile presso Genio Civile.

In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di BISHOP modificato che prevede l'utilizzo di superfici di scorrimento circolari.

### Metodi utilizzati nel codice

Nel codice di calcolo di MacStars W si utilizzano i metodi semplificati di Bishop e Janbu.

In entrambi i metodi il criterio di rottura adottato è quello di Mohr - Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma - u) * \tan(\phi')$$

dove:

$\tau$  = tensione tangenziale massima

$c$  = coesione

$\sigma$  = pressione normale totale

$u$  = pressione interstiziale

$\phi'$  = angolo di attrito

Applicando al valore della tensione tangenziale massima il coefficiente di sicurezza si ottiene la forza tangenziale mobilitata

### **Caratteristiche del metodo semplificato di Bishop sono:**

- vale solo per superfici circolari e quasi circolari, cioè superfici che vengono assimilate a superfici circolari adottando un centro di rotazione fittizio;
- ipotizza che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali;
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla rotazione intorno al centro della circonferenza;
- non soddisfa l'equilibrio globale in direzione orizzontale.

---

**Caratteristiche del metodo semplificato di Janbu sono:**

- vale per superfici di forma qualsiasi;
- ipotizza inizialmente che le forze di interazione tra i conci siano solo orizzontali;
- ottiene il coefficiente di sicurezza mediante scrittura della condizione di equilibrio alla traslazione verticale e quindi orizzontale;
- consente di tenere in conto le forze di interazione verticali (tangenziale) tra i conci mediante applicazione al precedente coefficiente di sicurezza di un fattore correttivo che dipende dalla geometria del problema e dal tipo di terreno;
- non soddisfa l'equilibrio globale alla rotazione del cuneo.

In relazione ai modelli di comportamento dei rinforzi una verifica di stabilità può essere condotta con il metodo rigido o con il metodo degli spostamenti.

**Verifica di stabilità globale**

La verifica di stabilità globale, o stabilità di base, è da intendersi come la verifica di stabilità con i metodi all'equilibrio limite di un pendio, rinforzato o meno. Può quindi essere utilizzato per valutare la stabilità del pendio in assenza di rinforzi, prima delle ipotesi di progetto di rinforzo. A seguito del progetto, tale verifica è da utilizzare per valutare la stabilità dell'opera nei confronti di meccanismi di potenziale scivolamento profondi e quindi eventualmente esterni ai rinforzi stessi (fig. 2).

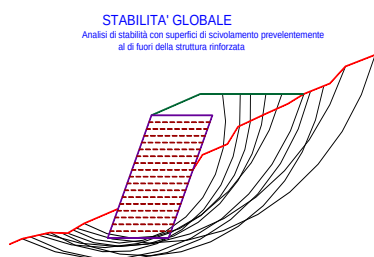


Figura 2

**Verifica di stabilità interna**

La verifica di stabilità interna (o stabilità di pendio) è quella verifica che consente di valutare il dimensionamento dell'opera, intesa come definizione dei rinforzi (tipologia, spaziatura, lunghezza, ecc.). In tale tipo di verifica le superfici di potenziale scivolamento partono dal piede di valle dell'opera di rinforzo e terminano nella parte superiore del pendio dopo aver attraversato l'opera progettata (fig. 3).

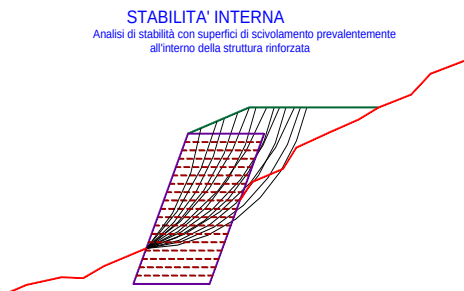


Figura 3

### Modello rigido

Nel modello rigido si ipotizza che un qualsiasi rinforzo che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata fornisca la forza di rottura del rinforzo, penalizzata dal relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidità dei rinforzi stessi. Per ciascun rinforzo devono essere verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo (fornito dall'utente);
- deve essere garantito lo sfilamento nella zona di ancoraggio;
- deve essere garantito lo sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

Nel primo caso, una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo

Nel secondo e nel terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento.

Il calcolo delle forze ultime di sfilamento viene eseguito con il seguente procedimento, che si basa sulla considerazione che in tutti i punti del rinforzo sia raggiunta la condizione ultima ( $\tau_u$ ).

### Sfilamento esterno (tratto di ancoraggio)

La zona di ancoraggio viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima ( $\tau_u$ ) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove:

$f$  = coefficiente di attrito totale del rinforzo sui materiali sopra e sotto nel tratto interessato, potendo essere rinforzo su rinforzo ( $f_{rr}$ ) o rinforzo su terreno ( $f_{tr}$ ).

$\sigma_v$  = tensione verticale efficace sul tratto considerato, ottenuta dalla relazione:

$$\sigma_v = (W + P_v - U) / dx$$

$W$  = peso totale della colonna di terreno sovrastante;

$P_v$  = componente verticale del carico distribuito uniforme agente in sommità;

$U$  = pressione neutra;

$dx$  = larghezza del tratto considerato.

L'integrale delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza di sfilamento esterna ultima del rinforzo. Al valore così determinato può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

#### Sfilamento interno

Nel caso di rinforzi secondari il procedimento per il calcolo della forza di sfilamento ultima è identico a quella dello sfilamento esterno.

La lunghezza del rinforzo all'interno del blocco instabile viene suddivisa in tratti e per ciascun tratto si calcola il valore della tensione tangenziale ultima ( $\tau_u$ ) dalla seguente relazione:

$$\tau_u = f \cdot \sigma_v$$

dove il significato dei simboli è il medesimo del caso precedente. L'integrazione delle tensioni tangenziali ultime fornisce la forza ultima di sfilamento interno.

Nel caso di rinforzi principali è da aggiungere il contributo resistente dovuto al risvolto. Tale contributo ( $F_0$ ) può essere calcolato mediante somma di due contributi:

$$F_0 = F_1 + \Delta F$$

Dove  $F_1$  è il contributo che genera sfilamento nella parte risvoltata (orizzontale), mentre  $\Delta F$  è l'ulteriore contributo che tiene conto delle forze radenti lungo il tratto subverticale, adiacente al paramento.

$F_1$  viene calcolata con procedimento analogo a quello dello sfilamento esterno (integrazione delle forze tangenziali ultime), mentre  $\Delta F$  viene calcolato, nell'ipotesi che il tratto in oggetto assuma una configurazione semicircolare, dalla relazione:

$$\Delta F = F_1 \cdot \pi \cdot f_{tr}$$

Al valore di forza ultima totale di sfilamento interno può essere applicato un coefficiente di sicurezza definito dall'utente.

### **Generazione delle superfici di rottura**

Nel codice di calcolo MacStars W è possibile assegnare una superficie di scorrimento mediante le coordinate (da utilizzare quando siano acquisite informazioni tali da conoscere la posizione della superficie di rottura del pendio) oppure è possibile far eseguire una ricerca della superficie di potenziale scorrimento, cioè la ricerca di quella superficie che presenta il coefficiente di sicurezza minore e quindi la superficie che presenta la maggiore probabilità di generare un collasso del pendio, qualora uno o più parametri di resistenza fossero inferiori a quelli del calcolo o i carichi fossero superiori.

La generazione delle superfici può essere di due tipi:

- superfici circolari;
- superfici casuali.

Il metodo di calcolo associabile alle superfici generate è: Bishop per superfici circolari, Janbu per superfici circolari e casuali.

Nel caso di superficie assegnata è possibile il calcolo sia con il metodo di Janbu che con il metodo di Bishop, ma in questo caso la forma della superficie deve essere prossima ad un arco di circonferenza.

La ricerca della superficie critica è sostanzialmente guidata dall'utente mediante l'utilizzo di alcuni parametri geometrici quali:

- l'estensione del tratto da cui partono le superfici;
- l'estensione del tratto in cui terminano le superfici;
- l'ampiezza dell'angolo di partenza delle superfici;
- la lunghezza di ogni singolo tratto della superficie di scorrimento;
- una quota minima sotto la quale le superfici non possono arrivare;
- un profilo geometrico all'interno del quale le superfici non possono entrare (ad esempio un profilo roccioso).

Il risultato finale può dipendere anche sensibilmente da tali scelte per cui è sempre opportuno eseguire più calcoli con differenti parametri. L'utente ovviamente può anche scegliere quante superfici generare. Ogni singola superficie viene generata mediante successione di tratti (della lunghezza stabilita dall'utente) la cui inclinazione è generata in modo casuale, ma comunque parzialmente guidata per rispettare i vincoli imposti.

**Carichi dinamici dovuti a forze di natura sismiche**

Il software MacStars W riconduce il calcolo in presenza di carichi sismici al metodo pseudostatico, introducendo nel calcolo forze di massa in direzione orizzontale ed in direzione verticale, ottenute moltiplicando il peso totale di ogni concio per i due coefficienti di intensità sismica.

Valori positivi dei coefficienti di intensità sismica, che vanno espressi come % di g, danno luogo a forze orientate verso l'esterno del pendio e verso l'alto.

Il contributo dei teli di rinforzo viene introdotto nel calcolo solo se essi intersecano la superficie di scivolamento. La resistenza a trazione nei rinforzi può mobilizzarsi per l'aderenza tra il rinforzo stesso ed i materiali (terreno o altri rinforzi) che si trovano sopra e/o sotto.

Tale contributo viene simulato con una forza stabilizzante diretta verso l'interno del rilevato applicata nel punto di contatto tra superficie di scorrimento e rinforzo stesso. Il modulo di tale forza è determinato scegliendo il minore tra il valore della resistenza a rottura del rinforzo ed il valore della resistenza allo sfilamento del rinforzo nel tratto di ancoraggio o nel tratto interno alla porzione di terreno instabile.

Per tenere conto dell'effetto dei rinforzi è stato implementato un modello di comportamento rigido. Nel modello rigido si ipotizza che un qualsiasi rinforzo, che attraversi la superficie di potenziale scorrimento analizzata, fornisca la forza di rottura del rinforzo penalizzata del relativo coefficiente di sicurezza, indipendentemente dai valori di rigidezza dei rinforzi stessi.

Per ciascun rinforzo devono essere verificate le seguenti condizioni:

- deve essere garantito un ancoraggio minimo;
- deve essere garantito lo sfilamento nella zona di ancoraggio;
- deve essere garantito lo sfilamento all'interno della porzione di terreno instabile.

Nel primo caso una lunghezza di ancoraggio inferiore al minimo stabilito comporta l'annullamento completo della trazione nel rinforzo. Nel secondo e terzo caso la trazione nel rinforzo viene limitata al minore dei due valori di sfilamento.

Ai fini del calcolo strutturale si è tenuto conto che si tratta di un'opera permanente per cui si è fatto riferimento alle prestazioni a lungo termine dei materiali metallici.

A tale proposito viene valutato il parametro di resistenza di lavoro  $T_d$ . Mancando in Italia uno specifico riferimento normativo, la stima della resistenza di lavoro degli elementi di rinforzo è stata determinata facendo riferimento allo schema illustrato di seguito che la normativa inglese BS8006 prescrive per i rinforzi in genere.

La resistenza di lavoro  $T_d$  è valutata secondo la formula:

$$T_d = T_b / f_m$$

Dove  $f_m$  è il fattore di sicurezza complessivo che consente di passare dalla resistenza a trazione nominale  $T_b$  a quella di lavoro

## 6. I GEOSINTETICI DI RINFORZO

### Caratteristiche meccaniche

I geosintetici essendo materiali realizzati da polimeri, sono sottoposti a naturali fenomeni di degradazione che devono essere tenuti in considerazione in fase di progettazione si da determinare preventivamente le resistenze richieste dagli stessi quando utilizzati con funzione di rinforzo

In generale, la resistenza a trazione a lungo termine di progetto (LTDS – Long-Term Design Strength) dei rinforzi polimerici può essere calcolata secondo la BS8006 / ISO TR 20432:

$$LTDS = \frac{UTS}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH} \cdot f_s}$$

Dove:

Resistenza a trazione a lungo termine di progetto

Resistenza a trazione caratteristica (a breve termine)

Fattore di riduzione della resistenza per effetto di fenomeni viscosi (creep)

Fattore di riduzione della resistenza per effetto del danneggiamento meccanico

Fattore di riduzione della resistenza per effetto degli agenti atmosferici

Fattore di riduzione della resistenza per effetto dell'aggressione chimica e biologica

Fattore di sicurezza relativo all'estrapolazione e all'incertezza dei dati

Si può quindi definire:

$$f_m = RF_{ID} \times RF_W \times RF_{CH} \times f_s$$

Dove:

Resistenza a trazione caratteristica (a breve termine), *UTS*

La resistenza a trazione caratteristica (a breve termine) o UTS – Ultimate Tensile Strength è valutata con riferimento alla EN ISO 10319.

**Fattore di riduzione della resistenza per effetto di fenomeni viscosi (creep),  $RF_{CR}$**

Il fattore di riduzione della resistenza per effetto del comportamento viscoso del materiale può essere ottenuto, per diverse vite di servizio e temperature, a partire dai risultati di Rapid Loading Test (RLT), Ramp-and-Hold (R&H), Stepped Isothermal Method (SIM), e test di creep convenzionali.

**Fattore di riduzione della resistenza per effetto del danneggiamento meccanico,  $RF_{ID}$**

La posa in opera del materiale di riempimento e gli effetti dovuti alla compattazione dello stesso mediante i mezzi d'opera, possono causare danni alla geogriglia di base con conseguente riduzione della sua resistenza meccanica. Il fattore di riduzione della resistenza per effetto del danneggiamento meccanico è da valutarsi a seguito di test su larga scala con il prodotto e il materiale di riempimento specifico.

**Fattore di riduzione per la durabilità del materiale,  $RF_W$  e  $RF_{CH} = RF_D$**

La durabilità del materiale di rinforzo costituisce un problema quando ci si approccia alla progettazione.

Per la gamma di rinforzi Paradrain il fattore di riduzione per la durabilità  $RF_D$  si deve assumere il valore di riduzione del poliestere con riferimento ad una vita utile di 120 anni, temperatura standard di 20°C, per terreni caratterizzati da  $4 < pH < 9$ . La definizione di ulteriori coefficienti prestazionali sarà base per definizione di prestazioni più severe sui materiali stessi

**Fattore di sicurezza relativo all'extrapolazione e all'incertezza dei dati  $f_s$**

Questo fattore di sicurezza tiene conto di quelle cause in cui effetti non possono essere quantificati, della qualità dei dati forniti e della variazione statistica dei fattori di riduzione.

Per le geogriglie drenanti 1,02, ma alcune normative impongono un valore costante indipendentemente da qualsiasi evidenza confermata a mezzo certificato; in tali casi, il valore riportato dovrà essere fattorizzato secondo il valore imposto dalla normativa.

## **7. VERIFICA DI STABILITÀ DELL'ARGINE IN TERRA RINFORZATA**

I calcoli condotti in fase progettuale denotano alcune importanti assunzioni che dovranno essere tenute in considerazione durante la realizzazione dell'opera.

La progettazione con terreni argillosi rende importante la definizione dei parametri geotecnici del terreno, tenendo presente che gli stessi variano in presenza o meno di pressioni interstiziali.

**Caratteristiche dei Materiali di Progetto**

Il progetto esecutivo prevede l'utilizzo di geogriglie tipo Paradrain 100.

Come riportato nel CSA il materiale deve essere certificato CE.

Le prestazioni nel Tempo LTDS utilizzate per il calcolo della terra rinforzata, devono essere riportate all'interno di un certificato Terza Parte quale BBA o equivalenti.

Geogriglia tipo Pararain 100

In termini di resistenza di progetto delle geogriglie, possono essere utilizzati tutti i coefficienti presenti nel report BBA delle geogriglie in quanto i materiali sono realizzati sulla stessa linea di produzione.

| Paragrafo<br>BBA<br>PARAGRID | Nella Argilla                                                     |               | tipo<br>paradrain<br>100/05 |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 7.3                          | Creep a 20° - 120 anni                                            | RF cr         | 1,38                        |
| 7.5                          | Fattore danneggiamento da installazione (argilla) diametro < 4 mm | RF id         | 1,02                        |
| 8.1                          | Fattore riduzione clima                                           | RF w          | 1                           |
| 8.4                          | Fattore chimico ph tra 4 e 9                                      | RF ch         | 1,03                        |
| 9.1                          | Fattore estrapolazione dati a 60 anni                             | FS            | 1,05                        |
|                              |                                                                   | <b>RF tot</b> | <b>1,52*</b>                |
|                              | T <sub>UTS</sub> [kN/m]                                           |               | 100                         |
|                              | max strain [%]                                                    |               | 10,00%                      |
|                              |                                                                   |               |                             |
|                              | T <sub>LTDS</sub> [kN/m] a 120 anni                               |               | 65,79                       |

## 8. SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA

Le sezioni verificate secondo la combinazione più gravosa per il dimensionamento, di cui nel seguito si riportano i tabulati di calcolo, sono:

- 1) Sezione 1                      H= 14 m
- 2) Sezione 2                      H= 13 m
- 3) Sezione 3                      H= 10 m
- 4) Sezione 4                      H= 14 m
- 5) Sezione 5                      H= 12 m
- 6) Sezione 6                      H= 11 m
- 7) Sezione 7                      H= 11 m

---

|                |          |
|----------------|----------|
| 8) Sezione 8   | H = 12 m |
| 9) Sezione 9   | H = 12 m |
| 10) Sezione 10 | H = 14 m |
| 11) Sezione 11 | H = 13 m |
| 12) Sezione A  | H = 4 m  |

## 9. ESITO DELLE VERIFICHE

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

Nella verifica di stabilità esterna ed interna 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 calcolo si introducono 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.

## 10. ISTRUZIONI OPERATIVE PER LA REALIZZAZIONE DEL RILEVATO STRUTTURALE

### **Requisiti richiesti per il rilevato strutturale**

Il terreno di riempimento che costituisce il rilevato strutturale dell'opera è di tipo argilloso e per questo motivo dovranno essere realizzate prove edometriche sullo stesso si da determinare i coefficienti  $C_v$  e  $m_v$

### **Posa in opera degli elementi di rinforzo**

Il piano di posa dovrà essere predisposto fino a raggiungere la quota d'imposta del primo elemento di geogriglia da eseguire, secondo le indicazioni riportate negli elaborati di progetto.

Si dovrà provvedere innanzitutto al taglio delle piante e alla estirpazione delle ceppaie, radici, arbusti ecc, il terreno dovrà quindi essere adeguatamente rullato e compattato fino ad ottenere le caratteristiche previste nel capitolato.

Il piano di fondazione dovrà essere regolare ed idoneo per la posa e compattazione del primo strato di riporto con ottenimento dei requisiti richiesti.

Non si dovrà operare in presenza di ristagni d'acqua o con terreni rammolliti, né in presenza di elevato contenuto organico (nell'eventualità questi dovranno essere bonificati, per completa sostituzione).

Nel caso in cui il piano di posa si trovi localmente depresso, in condizioni favorevoli ai ristagni d'acqua, si dovranno eseguire delle canalette di scolo laterale in pendenza con adeguato recapito.

Prima di eseguire il primo riporto occorre eseguire almeno 2-3 passate con un rullo a piede di montone si da rompere eventuali zolle presenti nel terreno da rilevato. Prima della posa del terreno da rilevato si provvederà inoltre a depositare lo stesso lateralmente alla terra armata, per permettere una corretta evaporazione dell'umidità.

Ogni qualvolta i rilevati dovranno poggiare su declivi con pendenza superiore al 20%, ultimata l'asportazione del terreno vegetale e fatta eccezione per diverse e più restrittive prescrizioni derivanti dalle specifiche condizioni di stabilità globale del pendio, si dovrà provvedere all'esecuzione di una gradonatura con banche in leggera contropendenza (tra 1% e 2%) e alzate verticali contenute in altezza.

### **Geogriglia drenante**

Gli elementi della geogriglia dovranno essere posti in opera per strati con interasse costante, secondo le modalità di seguito riportate:

1. Stesa dei rotoli di geogriglia con il geotessuto bianco rivolto verso l'alto (strato drenante) in modo tale che la direzione longitudinale risulti parallela alla direzione principale delle tensioni ed in modo tale che i teli contigui risultino tra loro allineati. Il materiale sarà steso manualmente avendo cura di evitare la formazione di ondulazioni o grinze e sovrapponendo i teli contigui per una larghezza pari ad almeno una maglia;

- 
2. Posizionamento del materiale di riempimento sulle geogriglie secondo la direzione longitudinale evitando di far circolare i mezzi di cantiere direttamente sulla geogriglia;
  3. La sovrapposizione laterali tra le griglie posate contigue dovrà essere di almeno 300 mm,
  4. Posizionamento del terreno da rilevato sulle geogriglie di rinforzo in geo griglia, fino a formare uno strato di spessore di 300 mm;
  5. Rullatura del materiale con rullo a piede di montone;
  6. Attesa del raggiungimento del grado di consolidazione desiderato T90, da definirsi sulla base delle prove edometriche in situ
  7. Risagomatura del piano di posa per l'esecuzione dell'elemento di rinforzo successivo;
  8. Ripetizione delle azioni da 1 a 8 fino a completamento della struttura.

### **Compattazione**

Le operazioni di compattazione, il tipo, le caratteristiche dei mezzi di compattazione, nonché le modalità esecutive di dettaglio (numero di passate, velocità operativa, frequenza) devono essere tali da garantire la prevista densità finale del materiale.

In ogni modo, deve ritenersi esclusa la possibilità di compattazione con pale meccaniche. Nel caso in cui lo sviluppo planimetrico dei manufatti sia modesto e gli spazi di lavoro disponibili siano esigui, si useranno mezzi di compattazione leggeri, quali piastre vibranti e costipatori vibranti azionati a mano. Ogni strato sarà messo in opera con un grado di compattazione pari al 95% del valore fornito dalle prove Proctor (ASTM D 1557).

La compattazione dovrà essere condotta con metodologia atta ad ottenere un addensamento uniforme. A tale scopo, i mezzi dovranno operare con sistematicità lungo direzioni parallele, garantendo una sovrapposizione fra ciascuna passata e quella adiacente pari al 10% del mezzo costipante. La compattazione a tergo delle opere eseguite dovrà essere tale da escludere una riduzione dell'addensamento e nello stesso tempo il danneggiamento delle opere stesse. In particolare, si dovrà fare in modo che i compattatori a rullo operino ad una distanza non inferiore a 0.50 m dal paramento esterno, e procedere quindi ad una successiva compattazione con "rana compattatrice" o piastra vibrante della porzione di terreno posta ad una distanza inferiore a 0.50 m dal paramento.

Questo procedimento consente di non generare deformazioni locali indotte dal passaggio o urto meccanico dei mezzi contro i componenti del sistema. Durante la costruzione, nel caso di danni causati dalle attività di cantiere o dovuti ad eventi meteorologici si dovrà provvedere al ripristino delle condizioni iniziali.

### **Condizioni climatiche**

La costruzione dei rilevati in presenza di gelo o di pioggia persistenti non sarà consentita in linea generale, tranne per quei materiali meno suscettibili all'azione del gelo e delle acque meteoriche (es. ghiaia). Nella esecuzione di rilevati con terre ad elevato contenuto della frazione coesiva dovranno essere tenuti a disposizione anche dei rulli gommati che permettano la chiusura della superficie dell'ultimo strato in caso di pioggia.

**Eventuali rilevati di prova**

Quando prescritto dalla Direzione Lavori, l'Impresa procederà alla esecuzione dei rilevati di prova.

In particolare, si potrà fare ricorso ai rilevati di prova per verificare l'idoneità di materiali diversi da quelli specificati nei precedenti capitoli.

Il rilevato di prova consentirà di individuare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali messi in opera, le caratteristiche dei mezzi di compattazione (tipo, peso, energie vibranti) e le modalità esecutive più idonee (numero di passate, velocità del rullo, spessore degli strati, ecc.), le procedure di lavoro e di controllo cui attenersi nel corso della formazione dei rilevati.

Il rilevato di prova dovrà essere necessariamente fatto prima della realizzazione dell'argine si da permettere la determinazione degli esatti tempi di posa delle geogriglie di rinforzo, funzione dei coefficienti edometrici del terreno in situ.

**Prove di controllo**

Prima che venga messo in opera uno strato di terreno nel rilevato rinforzato, quello precedente dovrà essere sottoposto alle prove di controllo e possedere i requisiti di costipamento richiesti.

La frequenza delle prove di seguito specificata, deve ritenersi come indicativa e potrà essere diminuita o aumentata, secondo quanto prescritto dalla Direzione Lavori in considerazione della maggiore o minore omogeneità granulometrica dei materiali portati a rilevato e della variabilità nelle procedure di compattazione.

L'Impresa dovrà eseguire le prove di controllo nei punti indicati dalla Direzione Lavori ed in contraddittorio con la stessa.

L'Impresa potrà eseguire le prove di controllo o in proprio o tramite un laboratorio esterno comunque approvato dalla Direzione Lavori.

La serie di prove sui primi 5000 mc. potrà essere effettuata una sola volta a condizione che i materiali mantengano caratteristiche omogenee e siano costanti le modalità di compattazione.

In caso contrario la Direzione Lavori potrà prescrivere la ripetizione della serie.

Le prove successive devono intendersi riferite a quantitativi appartenenti allo stesso strato di rilevato.

| Tipo di Prova                   | PRIMI 5000 m <sup>3</sup>                | SUCCESSIVI m <sup>3</sup> |
|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
|                                 | Ripetere la prova ogni (m <sup>3</sup> ) |                           |
| Classif. CNR - UNI 10006        | 2000                                     | 5000                      |
| Costipazione AASHTO Mod. CNR    | 2000                                     | 5000                      |
| Densità in sito CNR 22          | 250                                      | 1000                      |
| Carico su piastra CNR 9 - 70317 | 1000                                     | 5000                      |

**TRAPANI SERVIZI S.P.A.**

PROGETTO DI REALIZZAZIONE LOTTO DI DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI "TPS1"

C/DA BORRANEA – TRAPANI

---

|                                                          |      |      |
|----------------------------------------------------------|------|------|
| Controllo umidità                                        | *    | *    |
| Determinazione coefficienti da prove edometriche Cv - Mv | 1000 | 2000 |

\* Frequenti e rapportate alle condizioni meteorologiche locali ed alle caratteristiche di omogeneità dei materiali costituenti il rilevato