

9.1.5 Presenza di acqua nel terrapieno

Terrapieno delimitato da muri paralleli

Può accadere di dover progettare terrapieni delimitati su due lati da muri di sostegno paralleli. È un caso che si verifica abbastanza di frequente nella progettazione di strade con tratti in riporto per altezze anche non trascurabili. In tale situazione, dovendo sistemare il terreno, lateralmente alla piattaforma stradale, con una scarpa di $3/2$ [fig. a], le scarpate laterali vengono a occupare una superficie elevata e pertanto molte volte il terrapieno sul quale viene realizzata la strada è contenuto da due muri di sostegno, la cui distanza può risultare inferiore alla lunghezza del segmento AM compreso fra la sommità di un muro e il punto M di intersezione fra la retta di natural declivio e la superficie superiore della piattaforma. Questo significa che il prisma di terra che tende a scorrere lungo il piano di natural declivio, quando risulta $\alpha > \varphi$, non presenta più come base il triangolo ABM , ma una base minore e non più triangolare, e quindi anche il prisma di massima spinta viene a variare.

In questo caso la spinta viene calcolata con il seguente procedimento [fig. b]:

1. da un estremo superiore del terrapieno, a esempio C , si traccia la retta di natural declivio formante l'angolo di attrito φ con l'orizzontale, che interseca in B_1 il fronte opposto AB ;
2. l'altezza h del terrapieno risulta così suddivisa in due parti, quella superiore con altezza h' per la quale si assume una variazione lineare delle pressioni da un valore minimo S_{\min} in A sino a un massimo S_{\max} in B_1 , mentre per la parte inferiore di altezza h'' si ipotizza che le pressioni si mantengano costanti;
3. si calcola la spinta S_1 applicando una delle teorie studiate relativa al terrapieno con fronte AB_1 e la si applica alla distanza dalla base B del terrapieno:

$$d_1 = \frac{h'}{3} \cdot \frac{h + 3h'}{h + 2h'} + h''$$

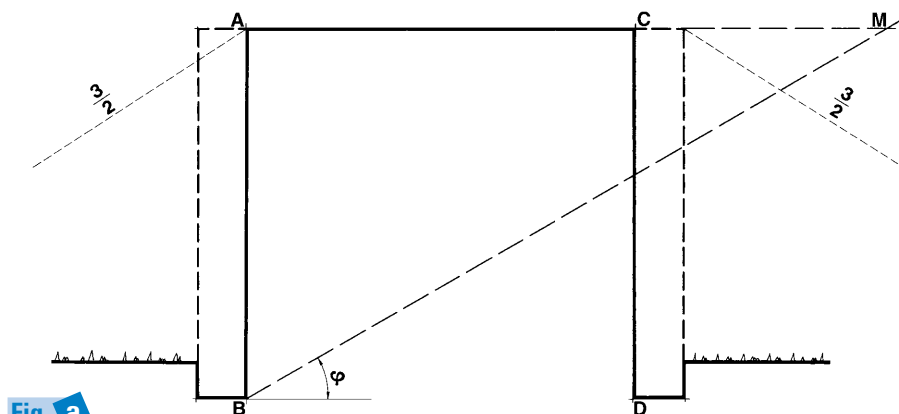


Fig. a

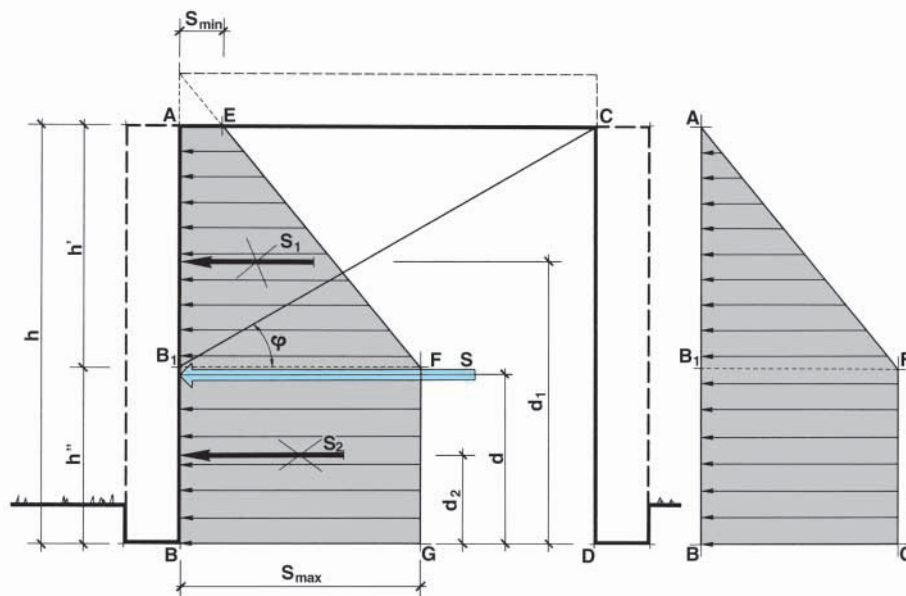


Fig. b

4. l'intensità della spinta S_2 , dovuta alla parte di terrapieno con altezza h'' , è rappresentata dall'area del rettangolo BB_1FG e quindi risulta:

$$S_2 = \overline{BG} \cdot \overline{BB_1} = S_{\max} \cdot h''$$

ed è applicata alla distanza dalla base B del terrapieno:

$$d_2 = \frac{h''}{2}$$

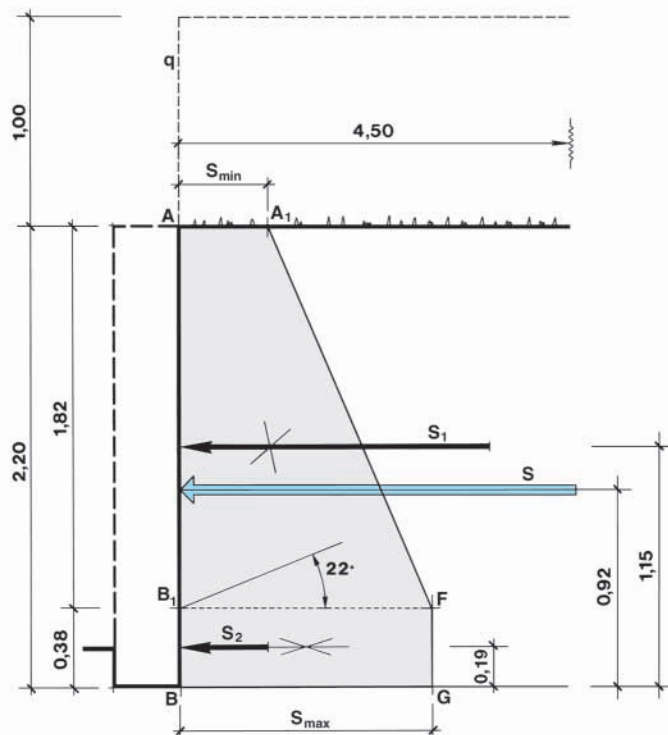
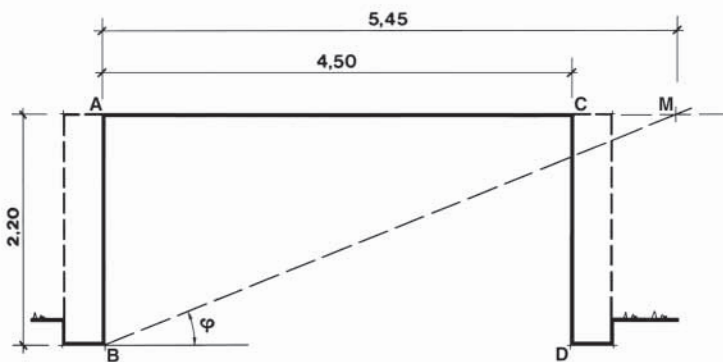
5. la spinta totale S è la risultante delle spinte parziali S_1 ed S_2 con intensità:

$$S = S_1 + S_2$$

e la sua distanza dal punto B può essere ottenuta per via grafica oppure con il procedimento analitico applicando il teorema di Varignon.

ESERCIZIO SVOLTO

Il tronco di una strada di interesse locale, larga 4,50 m, deve essere realizzato in riporto con un'altezza di 2,20 m. Al fine di contenere l'area di occupazione, il terrapieno, costituito di terra mista a ciotoli, sul quale verrà realizzata la piattaforma stradale, sarà contenuto da due muri di sostegno paralleli con parete interna verticale. Si richiedono il calcolo della spinta esercitata dal terrapieno e il tracciamento del diagramma delle pressioni assumendo un sovraccarico $q = 15 \text{ kN/m}^2$.



In relazione alle caratteristiche del terreno vengono assunti i seguenti parametri:

- angolo di attrito della terra: $\varphi = 22^\circ$
- peso volumico: $\gamma_t = 15 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito terra-muro: $\varphi_1 = 0^\circ$

Il tratto AM presenta una lunghezza:

$$\overline{AM} = h \cdot \text{tg}(90^\circ - 22^\circ) = 2,20 \cdot \text{tg} 68^\circ \approx 5,45 \text{ m}$$

maggiore della larghezza della strada; dal punto C si traccia quindi la parallela alla retta di natural declivio che, intersecando in B_1 il fronte AB , lo divide in due parti con altezza:

$$h' = \overline{AC} \cdot \text{cotg}(90^\circ - \varphi) = 4,50 \cdot \text{cotg} 68^\circ \approx 1,82 \text{ m}$$

$$h'' = h - h' = 2,20 - 1,82 = 0,38 \text{ m}$$

Il sovraccarico q corrisponde a una maggiore altezza di terra:

$$h_1 = \frac{q}{\gamma_t} = \frac{15,00}{15,00} = 1,00 \text{ m}$$

Applicando la teoria di Coulomb, la spinta S_1 prodotta dalla parte di terrapieno con altezza h' presenta un'intensità:

$$\begin{aligned} S_1 &= \left[\frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h'^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot h_1}{h'} \right) = \\ &= \left[\frac{1}{2} \times 15,00 \times 1,82^2 \cdot \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{22^\circ}{2} \right) \right] \times \\ &\times \left(1 + \frac{2 \times 1,00}{1,82} \right) \approx 23,72 \text{ kN} \end{aligned}$$

La linea di azione è orizzontale ed è applicata alla distanza dal punto B :

$$\begin{aligned} d_1 &= \left(\frac{h'}{3} \cdot \frac{h' + 3 \cdot h_1}{h' + 2 \cdot h_1} \right) + h' = \\ &= \left(\frac{1,82}{3} \times \frac{1,82 + 3 \times 1,00}{1,82 + 2 \times 1,00} \right) + 0,38 \approx 1,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Vengono ora calcolati i valori delle pressioni minima e massima necessari per il tracciamento del relativo diagramma; considerando un terrapieno fittizio di altezza h_1 la relativa spinta è:

$$S' = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot h_1^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \\ = \frac{1}{2} \times 15,00 \times 1,00^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{22^\circ}{2} \right) \approx 3,41 \text{ kN}$$

Si ha quindi:

$$S_{\min} = \frac{2 \cdot S'}{h_1} = \frac{2 \times 3,41}{1,00} = 6,82 \text{ kN/m}$$

$$S_{\max} = \frac{2 \cdot S_1}{h'} - S_{\min} = \frac{2 \times 23,72}{1,82} - 6,82 \approx 19,25 \text{ kN/m}$$

Il diagramma è un trapezio, il cui baricentro proiettato sul fronte AB individua il punto di applicazione della spinta S_1 .

9.1.5 Presenza di acqua nel terrapieno

Le pressioni, per l'altezza h'' , si ipotizzano costanti e la spinta S_2 presenta un'intensità:

$$S_2 = S_{\max} \cdot h'' = 19,25 \times 0,38 \approx 7,32 \text{ kN}$$

con linea di azione orizzontale e applicata alla distanza:

$$d_2 = \frac{h''}{2} = \frac{0,38}{2} = 0,19 \text{ m}$$

dal punto B .

La spinta totale S risulta:

$$S = S_1 + S_2 = 23,72 + 7,32 = 31,04 \text{ kN}$$

ha linea di azione orizzontale ed è applicata alla distanza dal punto B che viene calcolata applicando il teorema di Varignon:

$$S_1 \cdot d_1 + S_2 \cdot d_2 = S \cdot d$$

$$23,72 \times 1,15 + 7,32 \times 0,19 = 31,04 \cdot d$$

$$d = \frac{23,72 \times 1,15 + 7,32 \times 0,19}{31,04} \approx 0,92 \text{ m}$$

ESERCIZIO

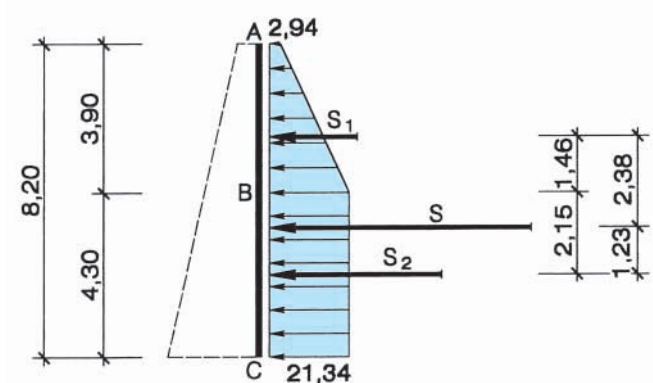
- 1 Calcolare la spinta prodotta da un rilevato stradale che presenta una quota rossa sull'asse di 8,20 m ed è relativo a una strada larga 6,00 m.

Il terreno naturale ha un andamento pianeggiante.

Nel calcolo si possono assumere i seguenti dati:

- peso volumico del terreno $\gamma_t = 16 \text{ kN/m}^3$;
- angolo di attrito del terreno $\varphi = 33^\circ$;
- sovraccarico sul rilevato $q = 10 \text{ kN/m}^2$.

Tracciare inoltre il diagramma delle pressioni.



$$[S_1 = 47,35 \text{ kN}; \quad S_2 = 91,76 \text{ kN}; \quad S = 139,11 \text{ kN}]$$