

Analisi di stabilità del pendio

L'analisi della stabilità di un pendio avviene tramite la valutazione della forza agente sulla massa rocciosa, risultante di tutte le forze che agiscono al disopra della superficie di rottura o di scorrimento (peso della massa rocciosa, forze dovute alle filtrazioni d'acqua, forze sismiche) comparata alla forza resistente, cioè alla resistenza al taglio (coesione sulla superficie di rottura e forza d'attrito lungo la medesima superficie innescata dal peso della massa rocciosa). Il sistema di forze deve essere in equilibrio, cioè devono essere soddisfatte le equazioni cardinali della statica. Se la forza resistente è uguale alla forza agente il sistema è in una condizione di equilibrio limite., bastano poche variazioni al sistema di forze agenti per provocare la frana. Perciò il problema della verifica di stabilità si riconduce alla determinazione del *coefficiente di sicurezza*.

Si dice *coefficiente di sicurezza η* il rapporto tra la forza resistente (taglio resistente) e la forza agente.

Nell'analisi di stabilità è bene considerare i valori più bassi di resistenza al taglio a vantaggio della sicurezza. Il coefficiente di sicurezza deve essere >1 .

La determinazione della superficie di rottura (*superficie critica*) avviene per tentativi e a partire da condizioni geomorfologiche.

Metodo di Fellenius:

serve per verificare la stabilità di un pendio.

La superficie di rottura è ipotizzata circolare. Il coefficiente di sicurezza η è il rapporto tra il momento delle forze resistenti lungo la superficie di rottura e il momento delle forze peso agenti lungo la medesima superficie. Il terreno è ipotizzato omogeneo, per cui si considera la sezione circolare di terreno sino alla profondità di 1 metro. Le forze peso corrispondenti alle diverse porzioni di terreno, in cui è ipotizzato suddiviso il "cilindro di scorrimento", provocano il momento ribaltante, al quale si oppone il momento stabilizzante dovuto alle forze di attrito e di coesione.

Il rischio idrogeologico

La stabilità di un pendio è connessa alla situazione idrologica del comparto in cui questo si colloca, in alcuni casi l'acqua gioca il ruolo primario del movimento franoso. È opportuno considerare sempre insieme gli effetti dei fenomeni geologici e idrici, su una particolare porzione della superficie terrestre, pur sapendo però che ci possono essere situazioni in cui le catastrofi naturali sono legate esclusivamente a cause idriche (allagamenti in pianura per unioni) o geologiche (terremoti).

I fenomeni di dissesto idrogeologico sono rilevanti se investono zone in cui le attività dell'uomo potrebbe essere compromessa, questi territori sono a rischio idrogeologico.

Rischio idrogeologico: *probabilità che un determinato evento naturale si verifichi incidendo sull'ambiente fisico in modo tale da arrecare danno all'uomo e alle sue attività.*

Si è deciso che per limitare i danni dovuti a fenomeni di dissesto in zone limitate si deve intervenire anche in quelle limitrofe. Ecco che assumono importanza le Autorità di Bacino e la redazione di piani di Bacino e i Piani di Stralcio.

La difesa del suolo diventa allora una politica di territorio che operi sul piano della previsione, identificando le zone critiche, gli insediamenti da evitare, quelli da proteggere, sia sul fronte della prevenzione, predisponendo misure tecniche per la tutela della sicurezza pubblica e la salvaguardia del patrimonio collettivo. È necessario conoscere il territorio, facendo rilievi, sondaggi, registrando dati e informazioni, ecc.

Opere per monitorare e migliorare la stabilità di un pendio

Per controllare la stabilità di un pendio si procede con il monitoraggio di alcuni *parametri assunti come indicatori dell'evoluzione del fenomeno franoso*.

Spostamenti e deformazioni superficiali della massa in movimento, misura degli spostamenti o deformazioni dei fabbricati presenti nel corpo di frana, la misura degli spostamenti in corrispondenza della linea di rottura, la variazione delle pressioni determinate nel corpo del terreno dalla presenza di acqua, la misura delle variazioni della falda freatica.

Le opere che possono essere realizzate su un pendio per migliorarne la stabilità dipendono dalla presenza o meno dell'uomo, dal tipo di terreno, dal tipo di frana.

Questi interventi sono volti a:

- ridurre le cause determinanti l'insorgenza del fenomeno franoso, quali la riduzione dell'erosione provocata dalle acque superficiali (loro raccolta, canalizzazione e smaltimento, diminuzione della velocità di scorrimento, sistemazione dei territori montani tramite drenaggi e piantumazioni), controllo delle piene dei fiumi (traverse fluviali, dighe per la laminazione delle piene, arginature), controllo delle acque di profondità (gallerie di intercettazione e allontanamento dai corpi di frana, trincee, pozzi)
- aumentare delle forze resistenti (sovraccarichi al piede della frana) diminuzione delle pressioni dell'acqua con drenaggi
- ridurre le forze che provocano la rottura mediante asportazione del materiale dalla sommità del versante di frana; riduzione della pendenza del versante
- trasferire gli sforzi di taglio a parti del versante non interessati dal movimento franoso (muri di sostegno con tiranti), pali tiratati
- consolidare il terreno con chiodature, tiranti, iniettando materiali incoerenti e meno deformabili
- proteggere dal rischio di caduta di materiale con reti metalliche, geotessuti, ecc.

Spinta della terra: teoria di Coulomb (1776)

Si analizza la spinta che un terrapieno con o senza sovraccarico, in assenza di acqua o saturo, esercita su un muro di sostegno. Si studieranno anche terrapieni composti da uno o più strati di terra con caratteristiche meccaniche differenti. Si arriverà anche all'analisi della resistenza limite di un terrapieno prima che arrivi a rottura sotto l'azione di una spinta.

Si ricorda che nelle considerazioni che seguono non si considera la coesione della terra.

Spinta attiva

Supponiamo di aver realizzato uno sbancamento che modifichi il profilo naturale del terreno, o semplicemente uno scavo. Per evitare che il terreno frani si può o garantire al terreno una pendenza "stabile", o contenere il terreno, realizzando un muro. Il muro dovrà essere dimensionato in funzione della forza che gli è applicata, tale forza è data dalla spinta del cuneo di terra che, dopo lo scavo, tende a franare.

Si chiama **cuneo di spinta** la parte di terreno che frana. Tale cuneo scivola lungo una superficie, detta piano di rottura, inclinata rispetto all'orizzontale di un angolo (angolo del piano di rottura) $\alpha \geq \varphi$ (angolo di attrito).

La **spinta attiva** è la forza esercitata dal cuneo di spinta sul muro di sostegno che si oppone allo scivolamento del cuneo di spinta lungo il piano di rottura.

Le forze che sono presenti nell'istante del distacco del cuneo di spinta sono: la risultante del peso G del cuneo di spinta, la risultante R delle reazioni del terreno sul piano di rottura al peso del cuneo di spinta, diretta secondo la normale al piano di rottura dell'angolo di attrito φ della terra la reazione $-S$ del muro alla spinta S data dal cuneo di spinta, inclinata rispetto alla normale alla parete stessa dell'angolo di attrito terra-muro $\delta < \varphi$. A ciascuno degli infiniti piani π passanti per B , corrisponde, per l'equilibrio del sistema di forze, un valore S , della spinta del cuneo sul muro.

Si chiama **spinta della terra S** il massimo dei valori S , che il cuneo di spinta esercita sul muro al variare dei possibili piani di rottura π , S è detta anche **spinta massima di Coulomb**.

La spinta è posizionata sul muro a $1/3$ dell'altezza del muro tesso.

Spinta in presenza d'acqua

Si deve distinguere l'azione dell'acqua da quella della terra, perché il ragionamento che è stato fatto sin qui, è relativo a terreno drenato. Le acque presenti nel terreno possono essere meteoriche o di falda.

*Il terreno si dice **drenato** se per sua natura (permeabile es sabbioso o ghiaioso) o per le opere che vi vengono fatte, l'acqua non vi permane; viceversa si dice **non drenato** (terreno non permeabile, es argilloso o poco permeabile es arido con granulometria fine) se l'acqua vi ristagna o si allontana, ma dopo un certo tempo di permanenza.*

Si distinguono i due casi seguenti:

Acqua Di Filtrazione

L'aumento di peso del terreno insieme alla pressione dell'acqua di filtrazione, comportano un aumento della spinta anche del 30 / 40 %. Per ovviare al problema è bene prevedere opere di drenaggio, che si noti eliminano la pressione dell'acqua, ma non diminuiscono il peso del terreno che va calcolato con la massa volumica del terreno saturo.

Si distinguono i seguenti interventi:

- Drenaggio costituito da materiale granulare, in assenza di materiale fine, con scarichi nel corpo del muro di sostegno costituiti da tubi del diametro di 100/150 mm, posti a file; opere di allontanamento (cunetta) al piede del muro per evitare l'influenza dell'acqua sul terreno di fondazione (allontana soprattutto le acque di infiltrazione), prima che "carichino" il muro.
- Se il drenaggio contiene materiale fine, la sua permeabilità può essere ridotta, è opportuno prevedere un drenaggio in verticale che faccia in modo che le pressioni sviluppate dall'acqua lungo la superficie di rottura siano nulle.
- Nei terreni coesivi il muro può subire spostamenti a causa del rigonfiamento del terreno in presenza di acqua. Queste spinte non possono essere valutate. Il fenomeno si aggrava a causa dei periodi di essiccazione che provocano fessure che, riempite in da altro terreno sgretolato dall'acqua, causano ulteriori pressioni.
- È pericoloso anche il congelamento dell'acqua che provoca aumenti di volume con conseguente sviluppo di forze di spinta. È bene prevedere accurati drenaggi alle spalle del muro.

Acqua di falda

L'acqua di falda fa diminuire il peso specifico della terra sommersa, in base al principio di Archimede. La spinta totale è dovuta al peso del prisma di terreno considerato, diminuito della spinta di Archimede, e dalla sovrappressione della spinta idrostatica dovuta allo "strato" d'acqua di falda presente nel sottosuolo.

Spinta della terra nel caso di strati di terreno differenti

Nel caso in cui il terreno alle spalle del muro sia costituito da strati diversi, si opererà considerando ciascuno strato indipendente, e per ciascuno, gli strati superiori rappresentano un sovraccarico uniformemente ripartito e infinitamente esteso.

Valore della spinta passiva

Si è in situazioni in cui il terrapieno stesso deve reggere a degli sforzi; questi in genere sono applicati alle sue spalle e l'effetto è lo spostamento del terrapieno stesso lungo un piano di scorrimento o la sua rotazione attorno ad un punto.

La spinta passiva è minima quando $\alpha = (\pi/4) - (\phi/2)$

I muri di sostegno a gravità

Hanno il compito di contenere la terra verticalmente o, comunque, secondo angolazioni superiori all'angolo di natural declivio. Sono sollecitati dalla spinta attiva della terra.

Si ricorda che *teoria di Coulomb, per ipotesi*, il terreno alle spalle del muro è considerato privo di coesione, isotropo ed omogeneo, lo scorrimento del cuneo di spinta avviene lungo un piano passante per il piede interno del muro e la pressione sul muro avviene secondo una distribuzione lineare. Quella appena riportata è un'approssimazione (a favore della sicurezza) perché un po' di coesione esiste sempre, il terreno si muove secondo una superficie curvilinea e la spinta non ha un andamento esattamente lineare (il suo punto di applicazione è leggermente più alto come posizione).

Si deve prestare *grande attenzione alla valutazione delle caratteristiche meccaniche del terreno*.

I muri a gravità sono muri massicci, costruiti in pietra o calcestruzzo a basso dosaggio, che resistono alla spinta grazie al proprio peso.

Le forze che agiscono su questi muri sono:

il peso proprio del muro (P), eventuale sovraccarico (P'), la spinta della terra (S), la spinta idraulica.

Verifica al ribaltamento

La verifica al ribaltamento è la verifica alla rotazione rispetto al punto più a valle della parte di parete che, per ragioni costruttive, si possa intendere come un elemento strutturale autonomo.

Il momento stabilizzante vale: (Pxd) , quello ribaltante (Sxh^*) (s è la componente orizzontale della spinta, tutta l'altra parte di spinta (verticale) contribuirà al del momento stabilizzante

Il muro è verificato se: $(Pxd) / (Sxh^*) \geq 1,5$

Verifica allo schiacciamento

La verifica allo schiacciamento è la verifica alla compressione del terreno effettuata al livello del piano di posa del muro.

La pressione sul terreno potrà essere tutta di compressione o parzialmente anche di trazione, a seconda del valore delle forze in gioco. È evidente che, essendo il terreno un materiale incoerente, non ha resistenza a trazione, quindi la sezione "resistente" sarà ridotta di dimensione, rispetto alla totalità della larghezza del muro.

La verifica sarà fatta tra la tensione massima esercitata sul terreno e la sua tensione massima ammissibile.

Verifica allo scorrimento

La verifica allo scorrimento (o scivolamento o slittamento) è la verifica alla traslazione della parete rispetto a suo piano di posa. La condizione necessaria affinché la parete non scivoli è che la forza di attrito F ($F = P \times \tan \phi$) tra la base della parete e la sua superficie di appoggio sia maggiore o uguale alla forza che determina lo scorrimento (componente orizzontale della spinta S). Per motivi di sicurezza è bene sia $F/S > 1,3$

Verifica allo slittamento del complesso Terra-muro

La verifica allo slittamento del complesso terra-muro è la verifica del coefficiente di sicurezza del terreno secondo le possibili superfici di scorrimento. Per lavorare a favore di sicurezza, si ricerca quello minimo.

SISTEMAZIONI IDRAULICO FORESTALI

Interventi atti a difendere il suolo minacciato dall'erosione nei territori di montagna, attraverso i quali si vuole porre rimedio al disordine provocato dai processi erosivi sui versanti (frane) e negli alvei dei corsi d'acqua montani (torrenti), dovuti all'azione dell'acqua.

Interventi di carattere idraulico e biologico forestali.

Tali opere hanno il compito di regimare i corsi d'acqua, diminuire la torrenzialità, evitando la formazione di piene. Sono dette opere di regimazione.

Le sistemazioni idraulico forestali si realizzano in montagna (sistemazioni montane o sistemazione dei bacini montani)

Se sono solo relative ai torrenti sono dette sistemazione dei torrenti

Obiettivi:

- 1 difesa del suolo montano dall'erosione, attraverso la stabilizzazione dei versanti mediante rimboschimento, e miglioramento di boschi e pascoli, regolazione delle acque superficiali, rinsaldamento delle frane
- 2 correzione degli alvei torrentizi, mediante la realizzazione di opere
- 3 l'attenuazione del trasporto solido.

Opere:

- 1 intensive: di carattere tecnico ingegneristico, sono realizzate negli alvei dei corsi d'acqua
- 2 di emergenza: di carattere improvviso, servono per affrontare una situazione critica
- 3 di manutenzione degli alvei: servono a ripristinare la sezione normale di deflusso dei corsi d'acqua. (sgomberi del materiale di taglio e allontanamento della vegetazione in alveo)
- 4 estensive: di carattere biologico naturalistico più modeste, ma più estese come zona di interesse, diffuse sull'intero bacino o sui versanti

Opere intensive

Opere trasversali: briglie e soglie

A seconda della dimensione si dividono in:

- dighe (con altezza superiore ai 10 m) non tracimabile, utilizzato per la formazione di bacini
- briglie o traverse (tracimabile)
- soglie (modeste)

La **briglia** è composta da:

- corpo
- ali o spalle
- paramento a valle e paramento a monta
- gavetta o cunetta
- coronamento
- innestature o ammorsamenti
- fondazioni

Le cause del danneggiamento delle briglie sono:

- insufficiente profondità delle fondazioni (scalzamento)
- insufficiente lunghezza di ammorsamento delle ali (aggiramento insufficiente ampiezza della gavetta)
- insufficiente ampiezza della gavetta
- carico dinamico causato dalle colate solide (rottura, ribaltamento)
- difetti del materiale di costruzione
- mancata manutenzione

La **controbriglia** è una briglia che si costruisce a valle di un'altra per assicurarne la stabilità