

**LA VALUTAZIONE GEOLOGICA PER UNA CORRETTA STABILIZZAZIONE DEI TERRENI E' NECESSARIO CONOSCERE LE CARATTERISTICHE CHIMICHE, FISICHE E MECCANICHE DEL TERRENO.**



# CONTENIMENTO DEL SUOLO

**Analisi delle cause e soluzioni proposte: un vademecum per risolvere i problemi di stabilità dei terreni**

Elena Lucchi

Il contenimento del suolo tende a frenare il naturale spostamento di terra che si manifesta nei siti in declivio, attraverso l'inserimento di opportune opere che contrastino l'azione esercitata dal terreno. La stabilizzazione dei terreni richiede un'attenta valutazione della situazione geologica, che comprende l'analisi delle caratteristiche chimiche, fisiche e meccaniche del terreno. Solo partendo da questa analisi, infatti, è possibile selezionare le tecnologie di contenimento del suolo più adatte per ogni specifico progetto.

## Problematiche

Le cause di instabilità dei terreni possono essere distinte in due categorie principali. La prima riguarda le cause interne, relative alla particolare configurazione del piano di campagna, alla struttura o alla conformazione stratigrafica dei

terreni. La seconda categoria comprende le cause ascrivibili a fattori esterni di carattere temporaneo (ad esempio la presenza di particolari condizioni meteorologiche, di frane, alluvioni o neve) o permanente, legati a squilibri generati dall'esecuzione di opere edili o alla presenza di acqua in eccesso rispetto al precedente stato di equilibrio.

Semplificando, le cause vengono divise nelle seguenti classi:

- provocate dalla presenza di acque sotterranee;
- dovute a particolari condizioni geologiche stratigrafiche;
- dovute alle acque superficiali o alle condizioni climatiche;
- dovute all'esecuzione di opere edili o infrastrutturali.

I movimenti del terreno determinati da questi fattori sono classificati in relazione alla fenomenologia

## Legislazione di riferimento

### Eurocodice 7: la norma sperimentale UNI ENV 1997:2002

"Eurocodice 7. Progettazione geotecnica" è suddivisa in tre parti. La prima parte fornisce gli elementi fondamentali per gli aspetti geotecnici della progettazione di edifici ed opere di ingegneria civile. È previsto che sia utilizzata unitamente alla UNI EN 1990. La norma non tratta requisiti specifici di progettazione antisismica che sono forniti nella EN 1998. La seconda parte fornisce indicazioni per l'esecuzione, l'interpretazione e l'uso di prove geotecniche di laboratorio. La terza parte fornisce per alcune prove in campo che stabiliscono quanto è necessario verificare le caratteristiche di attrezzature, procedimenti, definire i rapporti di prova e i criteri di interpretazione del risultato.

Decreto Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988 e Circolare del Ministero dei lavori Pubblici 24/09/88 n. 30483 "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".

dei movimenti (velocità, direzione, tipo di superficie di scorrimento) e all'entità dei fenomeni, distinguendoli in erosioni, smottamenti, scoscendimenti di massa e frane vere e proprie. Queste schematizzazioni costituiscono la base teorica per la progettazione delle opere di sostegno e di contenimento del terreno nei settori civile, industriale, stradale e del riassetto idrogeologico del territorio.

### Soluzioni

Attualmente sono in produzione molteplici sistemi prefabbricati di contenimento del suolo che

possono essere posati direttamente in opera. Alcune aziende offrono anche software di calcolo gratuiti o servizi progettuali interni per il dimensionamento statico, facilitando notevolmente il compito dell'architetto. La vera difficoltà, però, sta nella scelta del sistema costruttivo più appropriato per soddisfare le esigenze di ogni specifico progetto.

Il sistema più semplice e più diffuso è costituito dai muri di sostegno, ovvero strutture costruite al piede di una scarpata o su un piano per contrastare le forze orizzontali e oblique esercitate dal terreno. I sistemi si dividono in diverse categorie in relazione allo schema statico di riferimento:

- muri a gravità che resistono alla spinta del terreno principalmente attraverso il proprio peso. Appartengono a questa categoria le barriere formate da pietrame a secco, le pareti con gabbioni di pietra e ghiaia, le mantellate e i muri cellulari a gabbia in cemento armato prefabbricato o in legno;

- murature monolitiche in cemento armato costituite da muri a larga base che bilanciano l'azione tellurica con il proprio peso e con la spinta esercitata dalla massa di terreno che insiste sulla fondazione del muro stesso. Si dividono in sistemi gettati in opera e prefabbricati;

- geogriglie di rinforzo strutturale;

- muri in terra rinforzata.

La trattazione non prende in considerazione i materiali geosintetici che costituiscono una categoria estremamente importante delle opere di sostegno, poiché il tema sarà trattato più ampiamente nei prossimi numeri della rivista.

## Muri a gabbia



ErdoX Consolidatore è una struttura metallica, di forma piramidale, dal peso contenuto, di facile trasporto e veloce posa, adatta per la sagomatura e la stabilizzazione di canali soggetti a Debris Flow, la ricostruzione di versanti franati e per la protezione di sovrastrutture. Viene normalmente utilizzata con fondazione realizzata

tramite una o più piastre prefabbricate di cemento, o tiranti (micropali), o altri sistemi di ancoraggio. Oggetto di numerosissime applicazioni, in condizioni molto differenti tra loro, ha dimostrato particolare efficienza e versatilità, consentendo di intervenire in condizioni anche estreme, con spesa contenuta e immediata efficienza strutturale e meccanica (Betonform).

## Muri a gravità

La tipologia tradizionale di opere di contenimento del terreno è costituita dai muri a gravità, che contrastano il peso del terreno operando degli sforzi meccanici. Le forze che agiscono su un muro a gravità sono legate al peso del muro ( $W$ ), alla capacità portante del terreno ( $Q_f$ ), alla spinta attiva sulla parete ( $P_a$ ), alla resistenza allo slittamento lungo la base del muro ( $R_s$ ) e alla spinta passiva del terreno al piede del muro ( $P_p$ ). Le forze verticali devono essere sopportate dalla capacità portante del terreno di fondazione, mentre le forze orizzontali (che tendono a spostare il sostegno in avanti) devono essere contrastate dalla resistenza allo slittamento del muro e dalla spinta passiva del terreno. La spinta attiva (che tende a fare ribaltare la parete) si contrappone al peso del muro e alle

componenti verticali della spinta stessa. Pertanto, per controllare la correttezza del dimensionamento, occorre eseguire la verifica al ribaltamento, allo slittamento e al carico limite.

I muri possono essere di tipo drenante, quando uniscono le funzioni statiche e idriche, o non drenante, quando assolvono solo compiti strutturali.

I sistemi si dividono in:

- muri a gabbia o gabbioni;
- mantellate;
- muri cellulari a gabbia o crib-walls;
- muri cellulari in legno.

### Muri a gabbia

I gabbioni sono dei contenitori in rete metallica a forma di parallelepipedo riempiti di pietrame. Dopo un certo numero di anni, il metallo della rete tende a consumarsi ma, nel frattempo, il pietrame raggiunge un'apprezzabile grado di coesione. I gabbioni sono adatti per interventi di re-inverdimento mediante la semina, nelle secche di terreno trattenuto dal pietrame o con la collocazione di ramaglia viva o di piante legnose radicate.

### Mantellate

Le mantellate sono costituite da elementi prefabbricati di calcestruzzo posati in modo tale da formare un rivestimento continuo del pendio, al fine di resistere adeguatamente alle sollecitazioni meccaniche e di contenere la pendenza della scarpata. Per superfici di dimensioni limitate è utilizzato il rivestimento in mattoni a taglio. In alternativa, può essere utilizzato pietrame posto in opera con legante.

### Muri cellulari a gabbia

I crib-walls costituiscono un'innovazione nel contenimento del terreno. Oltre a risolvere i problemi legati alla morfologia del sito, i muri cellulari si armonizzano facilmente con l'ambiente in cui devono essere inseriti, poiché si inerbano nel tempo sino a scomparire alla vista.

Sono costituiti dalla sovrapposizione alternata di travetti longitudinali e trasversali in cemento armato vibrocompreso che formano dei contenitori grigliati. Questi ultimi, successivamente, sono riempiti con materiale incoerente dotato di una granulometria eterogenea che evita il dilavamento delle acque drenanti e conferisce il peso necessario per assicurare il drenaggio a monte e per assolvere le funzioni di muro a gravità. L'inserimento di materiale inerte lapideo a

## Terre armate



Geocella TAC è realizzata in materiale plastico con polietilene di alta qualità. Assemblate in strisce di spessore di 1,5-2,0 mm, sono cucite fra loro a intervalli regolari sfalsati in modo da offrire, una volta distese, una superficie alveolare a scacchiera atta a contenere il materiale di riempimento. Con la sua

struttura a celle alveolari comunicanti da ampie superfici forate, favorisce l'attecchimento e lo sviluppo della vegetazione. Viene utilizzata principalmente nei sottfondi stradali, nelle realizzazioni di canali artificiali allo scopo di aumentare la tenuta e ripartire il carico, nell'armatura di terreni scoscesi anche con forti pendenze. (Comiva)

granulometria differenziata, insieme alle larghe superfici aperte, assicura un effetto drenante che, nel calcolo di stabilità globale della struttura, permette di non considerare la spinta idrostatica (elemento da calcolare invece per le strutture monolitiche). Questa struttura favorisce, quindi, l'allontanamento delle acque di falda e meteoriche. I muri cellulari sono adatti per muri di contenimento, pareti di mascheramento di strutture esistenti e muretti di pulizia per opere stradali. L'incastro tra i blocchi frontali e retrostanti mantiene la continuità nel terreno di intasamento, permettendo alle piante di sviluppare in profondità l'apparato radicale e garantendo anche il re-inverdimento. La particolare struttura ha anche buone prestazioni di fonoassorbimento: la forma degli elementi,

## Gabbioni a sacco

Filter Unit è un gabbione a sacco in poliestere o poliammide, per consolidamento e controllo erosione nei lavori a mare, in alveo fluviale e in ogni intervento di stabilizzazione del terreno. Si caratterizza per l'alta resistenza a strappi e pressioni, la capacità di contenere materiale fino a 8 tonnellate, l'ottima resistenza agli UV e la capacità di contenere ogni tipo di materiale inerte: pietre, ciottoli, calcestruzzo. È fornito corredato di apposito anello metallico che connette i 6 punti di collegamento della rete, facilitandone il sollevamento. Può svolgere contemporaneamente funzioni di supporto, consolidamento, protezione e rinforzo. (Geosintex)



## Geogriglie

I sistemi per realizzare muri in terra rinforzata con geogriglie e paramento modulare in cls, costituiscono una soluzione di estrema versatilità tecnica, estetica ed economica, considerando soprattutto i tempi di maturazione di un manufatto tradizionale in cls e successivamente rivestito in pietra. Il Sistema integrato T-Block è costituito da blocchi in cls di facciata, da geogriglie di rinforzo e da uno speciale elemento brevettato di connessione meccanica, che permette un alto coefficiente di sicurezza e una elevata capacità di sopportare carichi statici e dinamici, il tutto realizzato in tempi rapidi e anche da parte di personale non qualificato. (Tenax)



il materiale di riempimento, l'inerbimento e le alberature sulla sommità dei cassoni attenuano le onde sonore provenienti dai mezzi di trasporto. Dal punto di vista statico, i muri cellulari hanno lo stesso comportamento dei muri a gravità tradizionali. Per il loro dimensionamento è necessario bilanciare il momento ribaltante (dovuto alla spinta attiva e ai carichi esterni applicati sul terreno) con il momento stabilizzante (fornito dal peso di riempimento insitato all'interno delle gabbie). Il calcolo della spinta esercitata dal terreno sull'opera di sostegno deve considerare la massima tensione efficace cui è sottoposto. Dopo avere eseguito il dimensionamento statico e le verifiche, si sceglie la composizione strutturale della gabbia che più si avvicina alle dimensioni trasversali ricavate dal

## Muri di contenimento

I sistemi di contenimento terra facciavista AB Classic e Europe di Magnetti Geotech permettono di realizzare murature rinforzate o murature a gravità con caratteristiche di massima sicurezza, e sono in grado di adattarsi con grande versatilità alle caratteristiche fisiche del terreno raggiungendo anche altezze molto considerevoli (fino a 10 metri). La flessibilità del sistema è garantita dalla presenza di due formati modulari e dall'elemento "copertina", utilizzabile per il coronamento superiore dei muri. Quest'ultimo, realizzato con la stessa varietà di colori, si incastra perfettamente al corso sottostante mediante un giunto. I muri di contenimento AB possono essere realizzati sia



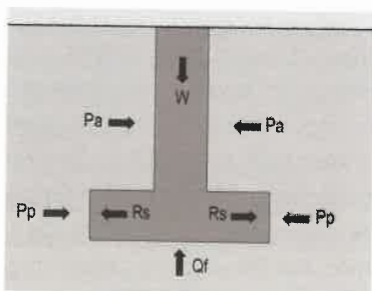
in grandi opere di contenimento di scarpate e terrapieni che per aree verdi pubbliche o private. (Magnetti Geotech)

calcolo. Questa struttura asseconda gli assestamenti differenziati del terreno e, quindi, si autorifonda nel tempo. Infatti, essendo realizzata per sovrapposizione alternata ortogonale di elementi prefabbricati appoggiati tra loro (non cementati), può articolarsi sugli incastri e seguire i movimenti di assestamento del terreno. Le caratteristiche modulari della struttura garantiscono la possibilità di ampliamenti, modifiche e recupero del materiale nel tempo. I muri cellulari non necessitano di particolari opere complementari, quali drenaggio o cunicoli di raccolta. Muri di altezza sino a 10 metri, inoltre, non richiedono fondazioni specifiche o particolari poiché le pressioni distribuite sul terreno raggiungono valori inferiori a  $1.50 \text{ Kg/cm}^2$ . Per terreni particolarmente allentati è necessario prevedere uno strato di bonifica dotato di spessore ed estensione opportuni, così da ripartire il carico su una superficie maggiore. Infine, il peso relativamente modesto degli elementi modulari prefabbricati (intorno agli 80 Kg) consente l'impiego di un esiguo numero di maestranze e non richiede l'ausilio di mezzi meccanici particolari.

### Muri cellulari in legno

In commercio esistono anche muri cellulari a gravità realizzati con elementi prefabbricati in legno, particolarmente adatti per opere di sostegno e barriere antirumore da realizzare in luoghi di montagna o in aree soggette a vincolo ambientale o paesaggistico. I sistemi, in linea generale, sono costituiti da una serie di elementi longitudinali (correnti anteriori e posteriori) posizionati per mutuo incastro, grazie ad appositi intagli, su traverse a interasse fisso. A montaggio eseguito, il manufatto è suddiviso in una serie modulare di celle aperte, riempite con materiale inerte a granulometria variabile che contrasta le spinte esercitate dal terreno e da eventuali sovraccarichi. Le strutture hanno una buona risposta alle sollecitazioni sismiche e agli eventuali cedimenti differenziali del substrato. Il legno viene protetto dall'attacco di funghi, parassiti e muffe. Il paramento frontale, parzialmente rinverdibile, può essere realizzato secondo diverse geometrie e successioni di terrazzamenti. Il sistema può essere utilizzato anche per mascherare strutture in calcestruzzo o come barriera antirumore auto-portante. Il calcolo strutturale avviene seguendo le stesse procedure attuate per i muri cellulari a gabbia in cemento armato vibrocompresso.

Funzionamento statico di un sistema di sostegno a gravità. Le forze che agiscono su un muro a gravità sono legate al peso del muro ( $W$ ), alla capacità portante del terreno ( $Q_f$ ), alla spinta attiva sulla parete ( $P_a$ ), alla resistenza allo slittamento lungo la base del muro ( $R_s$ ) e alla spinta passiva del terreno al piede del muro ( $P_p$ ).



### Muri monolitici prefabbricati

I muri prefabbricati sono costituiti da elementi modulari di dimensioni variabili in funzione delle specifiche richieste del progettista. Sono composti da due lastre collegate tra loro mediante tralici elettrosaldati o con staffe orizzontali in ferro. Nelle due lastre, in fase di produzione, sono inseriti i ferri verticali di armatura che devono essere dimensionati dal progettista o dall'ufficio tecnico dell'azienda in base alle caratteristiche di resistenza meccanica del terreno e agli sforzi totali previsti. La superficie a vista può essere liscia, con fondo a cassero oppure rivestita in pietra di varia natura e pezzatura. In questi sistemi, l'elevato livello di precisione dimensionale e la costanza delle caratteristiche meccaniche permettono di raggiungere alti valori di indeformabilità e coefficienti di sicurezza molto superiori rispetto ai sistemi tradizionali. Rispetto a un muro costruito in opera, inoltre, sono eliminate tutte le operazioni di cassetatura e di disarmo, con una notevole riduzione dei tempi di posa e dei costi di cantiere. La varietà delle finiture e dei rivestimenti superficiali facilitano l'impiego dei sistemi anche nei luoghi soggetti a vincolo ambientale o paesaggistico. Presentano, infatti, eccellenti caratteristiche di finitura estetica e di attitudine all'inserimento dell'ambiente, in quanto i blocchi possono essere disposti con diverse soluzioni compositive. È sufficiente modificare la disposizione degli elementi in base a schemi pre-stabiliti per variare notevolmente l'impatto visivo dell'opera finita. Ad esempio, agendo sul rapporto elemento/spazio seminale è possibile permettere alla vegetazione di ricoprire in parte o completamente il muro finito. In questo caso, è necessario verificare l'esposizione al gelo della fondazione e, conseguentemente, determinare la profondità del drenaggio e il dimensionamento della fondazione. Altrettanta cura deve essere dedicata alle verifiche sulla permeabilità e sul drenaggio del terreno di appoggio, verificando la compattazione e la stabilità. La prima operazione da effettuare riguarda il getto e il consolidamento del cordolo

di fondazione. In seguito, ciascun pannello viene posizionato in corrispondenza dei ferri di chiamata e opportunamente puntellato per conferire la necessaria stabilità. Si procede quindi al getto di completamento con un calcestruzzo dotato di adeguata resistenza meccanica. Il riempimento del terreno retrostante può avvenire entro pochi giorni dalla posa: i tempi di maturazione definitiva dipendono essenzialmente dalle caratteristiche del materiale impiegato. I muri prefabbricati sono adatti per tutti i tipi di contenimento del terreno, sia su superfici pianeggianti che in pendenza.

### Geogriglie di rinforzo

Le geogriglie di rinforzo sono costituite da blocchi prefabbricati in calcestruzzo che vengono posati direttamente sul terreno ben compattato, senza richiedere l'utilizzo di malte. I sistemi sono impiegati a secco e fissati tra loro grazie al particolare disegno che li caratterizza. Ogni blocco, infatti, presenta un dente sulla base superiore e un incavo su quella inferiore, realizzati per evitare lo scivolamento e per facilitare la posa in opera. La presenza di un maschio e di una femmina verticali sui lati e la forma rastremata consentono la rotazione dei blocchi. Dopo averli posti in opera, la presenza di fori passanti garantisce il riempimento dei blocchi con il terreno. In questo modo, aumentano il peso dei blocchi e consentono l'ancoraggio delle geogriglie.

*Elena Lucchi, Docente a Contratto e Assegnista di Ricerca presso il Dipartimento Scienza e Tecnologie dell'Ambiente Costruito (BEST) del Politecnico di Milano*

*Segue a pag. 125*

### Requisiti minimi

La corretta costruzione di un'opera di contenimento del terreno deve garantire i seguenti requisiti minimi:

- Stabilità della struttura;
- Conservazione delle caratteristiche idriche del terreno;
- Economicità della soluzione;
- Compatibilità e rispetto dell'ambiente circostante.

Per garantire la stabilità della struttura e la conservazione del terreno è importante: conoscere la caratterizzazione geotecnica, prevedere i cedimenti in regime di piccole deformazioni, analizzare la risposta meccanica di terreni, definire le leggi costitutive adeguate per i terreni e per il complesso terreno-fondazione. Altro elemento importante, è la protezione ambientale del territorio, con particolare attenzione alla compatibilità tra l'opera geotecnica e l'ambiente circostante.