

STABILIZZAZIONE DI MOVIMENTI FRANOSI CON ANCORAGGI FLOTTANTI: IL CASO DI FRANA VAL MASO (VALLI DEL PASUBIO, VICENZA)

Alberto Bisson (alberto.bisson@dicea.unipd.it)

Dip. Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA), Università degli Studi di Padova.

Simonetta Cola (simonetta.cola@dicea.unipd.it)

Dip. Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA), Università degli Studi di Padova.

ABSTRACT

La nota presenta una tecnica per la stabilizzazione di movimenti franosi denominata “ancoraggio flottante” che è stata oggetto di studio e di sviluppo teorico e applicativo all’interno di un Dottorato di Ricerca a tema. La tecnica prevede l’installazione di ancoraggi passivi nel corpo di frana, cementati al terreno e con adeguata fondazione nel terreno stabile profondo, posizionati secondo una geometria discontinua senza una parete di rivestimento del versante, ma con la sola applicazione di una piastra di ridotte dimensioni collegata alla testa di ciascuna barra. Dopo una rapida presentazione della tecnica e di un semplice schema di dimensionamento, si presentano un’applicazione per la sistemazione della frana di Val Maso (Valli del Pasubio, Vicenza) e i risultati di 18 mesi di monitoraggio post intervento.

1. Introduzione

Le caratteristiche geomorfologiche e meteo-climatiche del territorio italiano lo rendono fortemente soggetto a fenomeni di dissesto idro-geologico, tra i quali le frane sono uno dei più rilevanti. Basti pensare che secondo i dati dell’ISPRA (2014) l’indice di franosità del territorio italiano è pari al 7%, e che il 70% dei comuni italiani è interessato da frane e il 36% presenta livello di attenzione molto alto. Ogni anno si creano nuove situazioni di allarme, con particolare intensificazione durante i periodi di piogge eccezionali: ad esempio, nei primi giorni del novembre 2010, nel settore prealpino della provincia di Vicenza si sono registrati oltre 500 allarmi per frane. I temi legati alla mitigazione del rischio idrogeologico con la ricerca di soluzioni innovative ed economicamente vantaggiose risultano quindi di grande attualità scientifica, oltre che di importanza strategica dal punto di vista socio-economico.

In questo contesto si inserisce il programma di ricerca frutto di una collaborazione tra Università di Padova, Provincia di Vicenza e l’impresa Dalla Gassa, all’interno del quale è stato sviluppato un sistema di rinforzo e stabilizzazione delle frane denominato “ancoraggio flottante”. Il lavoro svolto all’interno di un Dottorato di Ricerca ha consentito l’analisi sperimentale, teorica e numerica delle varie componenti del sistema al fine di valutare il comportamento strutturale e geotecnico dei singoli elementi e dell’insieme. L’applicazione della tecnica nella sistemazione di quattro frane reali e il monitoraggio degli interventi completano il lavoro e appaiono comprovare la validità e l’efficacia tecnica del metodo. Nel seguito si presenta brevemente la tecnica e l’intervento eseguito presso la frana di Val Maso (Valli del Pasubio, Vicenza).

2. Ancoraggi flottanti: idea di fondo e schema di calcolo

Gli ancoraggi flottanti nascono come compromesso tra la tecnica di scavo nota come Soil Nailing e gli ancoraggi profondi. Il sistema prevede l’installazione di ancoraggi passivi nel corpo di frana, cementati al terreno per l’intera lunghezza e con adeguato ammorsamento nella zona stabile, posizionati secondo una geometria discontinua conforme alla morfologia del pendio. Esternamente non è prevista l’applicazione di un rivestimento continuo del pendio, ma solo una piastra di modeste dimensioni (l’elemento “flottante”) collegata alla testa di ciascuna barra. Come nel Soil Nailing, gli ancoraggi flottanti sono pensati per assorbire importanti sforzi di trazione trasmessi nelle barre per attrito dal terreno in movimento: in questo modo, le sollecitazioni che inducono il movimento franoso vengono ridotte e il processo evolutivo della frana rallentato. Si tratta di un sistema “passivo”, in quanto le barre si attivano solo quando il terreno si muove relativamente ad esse e applica delle tensioni tangenziali lungo la loro superficie. I principali vantaggi tecnici sono la flessibilità, legata alla capacità del sistema di adattarsi alle deformazioni del versante senza perdere di funzionalità, e la modularità degli elementi, che rende l’applicazione particolarmente interessante anche per rallentare frane lente e medio lente, qualora non si disponga di finanziamenti sufficienti per una completa stabilizzazione del fenomeno.

Poiché i volumi di terreno movimentati da una frana rispetto ad una parete chiodata sono maggiori, le forze assiali che si sviluppano nelle barre sono molto superiori a quelle caratteristiche del Soil

Nailing, fatto che ha indotto a sviluppare un nuovo tipo di barre dette composite, ottenute come accoppiamento tra una barra tradizionale e uno o più trefoli di acciaio armonico (Bisson et al., 2013). Nel dimensionamento, la capacità di un ancoraggio flottante dipende dalle tensioni attritive mobilitate all'interfaccia terreno-boiaccia, e dalle dimensioni e dalla resistenza a trazione della barra. Si deve quindi garantire che:

1. La resistenza a trazione delle barre in acciaio sia sufficiente a sopportare la massima sollecitazione assiale che si sviluppa su di esse senza rottura; la forza stabilizzante totale Q_a esplicita da ciascun elemento è pari alla somma della forza di testa assorbita dalla piastra flottante Q_p e dell'integrale delle tensioni d'attrito attivate all'interfaccia terreno-boiaccia nella zona attiva del versante:

$$Q_a = Q_p + \int_{L_a} \pi D \tau_{ux} dx \quad (1)$$

dove D è il diametro della barra con la boiaccia di cementazione, L_a la lunghezza dell'ancoraggio in zona attiva e τ_{ux} la resistenza a taglio esplicita all'interfaccia boiaccia-terreno in corrispondenza dell'ascissa x . È possibile eseguire il calcolo del secondo contributo estendendo i due metodi proposti nelle raccomandazioni "Ankoraggi nei Terreni e nelle Rocce" (AGI, 2012).

2. La lunghezza delle barre all'interno della zona passiva, cioè la porzione delle barre che si protrae al di là della superficie di potenziale o di effettivo scorrimento, sia sufficiente a fornire una resistenza al pull-out complessiva pari alla trazione necessaria per stabilizzare il versante (Geoguide 7, 2008).
3. La piastra di ancoraggio esterna deve poter sopportare la spinta del terreno a tergo, la quale può variare in funzione degli effetti viscosi. Per tener conto di ciò, è stato di recente proposto un modello di interazione versante-rinforzi a lungo termine nell'ipotesi di comportamento viscoso del terreno, analogo a quelli sviluppati da Gudehus e Schwarz (1984) e da Puzrin e Schmid (2012) per pali o muri di sostegno su pendio. Quest'ultimo schema mette in relazione la velocità di spostamento lungo la superficie di taglio con lo sforzo mobilitato sulla stessa, valutando in modo quantitativo la riduzione di velocità della frana in funzione del numero di ancoraggi inseriti nel pendio instabile in funzione di alcuni parametri geometrici (inclinazione di versante e rinforzi), dell'indice di viscosità del terreno e del numero di ancoraggi flottanti installati (Bisson, 2015).

Il confronto in termini di efficienza/costo, eseguito sulla base di analisi di stabilità all'equilibrio limite e agli elementi finiti, ha dimostrato come la tecnica degli ancoraggi flottanti sia economicamente vantaggiosa rispetto ad altre soluzioni (Bisson & Cola, 2014). Le tecniche rigide tradizionali infatti inducono sollecitazioni interne agli elementi strutturali molto maggiori rispetto a un intervento flessibile, con una conseguente maggior domanda di resistenza in fase di dimensionamento. Inoltre, l'installazione degli ancoraggi flottanti avviene con macchinari con ingombro ridotto e con tempi di esecuzione minori, garantendo un più alto rapporto costi-benefici; il vantaggio è ancor maggiore se si impiegano barre autoperforanti anziché barre in preforo. Infine, il carattere modulare degli ancoraggi flottanti consente di calibrare l'intervento in corso d'opera, con la possibilità di aumentare il numero di ancoraggi anche in un secondo tempo, a seconda delle necessità riscontrate in sito e durante il monitoraggio, in accordo con l'impostazione definita dal "metodo osservazionale". In frane ad evoluzione lenta o medio-lenta questa tecnica può quindi essere utilizzata anche solamente per rallentare la velocità di avanzamento del pendio instabile. L'effetto ottenuto dipende dal numero di ancoraggi installati e quindi dal rapporto tra le forze instabilizzanti indotte dalla massa instabile e la loro riduzione generata dal sistema di rinforzi.

3. Frana Val Maso: sistemazione con ancoraggi flottanti e monitoraggio

La frana di Val Maso è localizzata sulle pendici meridionali di Cima Fratte, nel comune di Valli del Pasubio (VI). Tra il 2 e il 3 Novembre 2010, in occasione delle forti piogge che hanno colpito la regione Veneto, si è verificato il distacco di circa 10^6 m^3 di terreno da un versante inclinato di circa 40° , generando un fenomeno complesso: nella parte centrale e bassa del versante uno scivolamento roto-traslazionale che coinvolge i depositi eluviali/colluviali e detritici, con uno spessore massimo di circa 20 m, associato a colata di fango e detriti. La frana ha messo in pericolo alcune abitazioni situate qualche centinaio di metri a valle e la strada che porta alla località Cortiana, unica via d'accesso alla zona. Dallo studio delle cause d'innescio della frana si evince come il dissesto sia stato attivato dalle piogge eccezionali cadute nell'arco delle 24 ore dell'evento alluvionale del novembre 2010, avvenuto in un contesto idrologico che già presentava delle criticità a causa dell'intenso regime pluviometrico dei mesi precedenti (Floris et al., 2012). Una serie di carotaggi associati a 4 tomografie sismiche, 2 tomografie elettriche e 2 rilievi laserscanner hanno consentito di

caratterizzare la geo-morfologia del corpo frana e ricostruire il modello geotecnico del sottosuolo. Inoltre l'installazione di 3 estensimetri ha consentito la misura della velocità di avanzamento della frana pre-intervento, risultata in media pari a 1,6 m/anno.

Il progetto comprende più opere aventi diverse funzioni (Figura 1). Con la tecnica delle terre armate ancorate, al piede della frana è stato eseguito un terrapieno di riprofilatura e supporto nel quale si è inserita una trincea drenante che doveva captare ed allontanare le acque di una sorgente. Per assicurare la sicurezza della strada, situata quasi al coronamento della frana, si sono eseguite due piccole pareti chiodate passive, mentre la stabilità generale del versante è stata incrementata grazie all'installazione di tre file di ancoraggi flottanti nella fascia del versante intermedio. Per la stima del numero di ancoraggi necessari alla stabilizzazione, della loro posizione ottimale, delle tensioni attese e del fattore di sicurezza globale post-intervento dell'intero versante, è stata eseguita una modellazione agli elementi finiti supportata da una back-analysis di calibrazione dei parametri (Bisson et al., 2014). Si è optato per un intervento con 32 ancoraggi flottanti posti a quinconce su 3 file con interassi orizzontale e verticale di 6 m, inclinazione di 15° sull'orizzontale e lunghezza compresa tra 25 e 30 m. Il calcolo ha fornito un coefficiente di sicurezza finale di 1,54, contro un valore iniziale di 1,04.

Per valutare gli effetti dell'intervento e il comportamento d'interazione dei rinforzi con il terreno, dopo la conclusione dei lavori (dicembre 2012) si è avviata una fase di monitoraggio che comprende:

- Rilievo topografico degli spostamenti del corpo frana e delle piastre flottanti mediante 10 mire poste sul terreno e 32 mire poste sulle piastre flottanti (una per piastra);
- Due rilievi laserscanner georeferenziati eseguiti a distanza di 10 mesi l'uno dall'altro per il monitoraggio dei volumi di terreno soggetti a spostamento nell'intero corpo di frana;
- Rilievo mediante celle di carico della sollecitazione agente su due piastre flottanti.

Il monitoraggio topografico è durato 18 mesi, da marzo 2013 a settembre 2014. In questo periodo si è osservato uno spostamento massimo delle mire sul terreno e sulle piastre flottanti rispettivamente di 60 mm e 45 mm, e uno spostamento medio rispettivamente di 32 mm e 20 mm (Tabella 1). La velocità della frana si è quindi ridotta da 1600 mm/anno prima dell'intervento a un valore medio di 26 mm/anno dopo l'intervento, con un decremento di due ordini di grandezza. Anche il monitoraggio laserscanner non ha evidenziato spostamenti rilevanti se non in alcune aree molto ristrette dove si presentano fenomeni localizzati di erosione superficiale. Nei 21 mesi di monitoraggio la forza assiale sulle due piastre ha mostrato un decremento complessivo del 18,9% e 14,5% rispettivamente (Figura 2), ad indicare un naturale rilassamento dello stato tensionale del terreno a tergo delle piastre causato dagli assestamenti delle piastre che accompagnano i movimenti del corpo di frana.

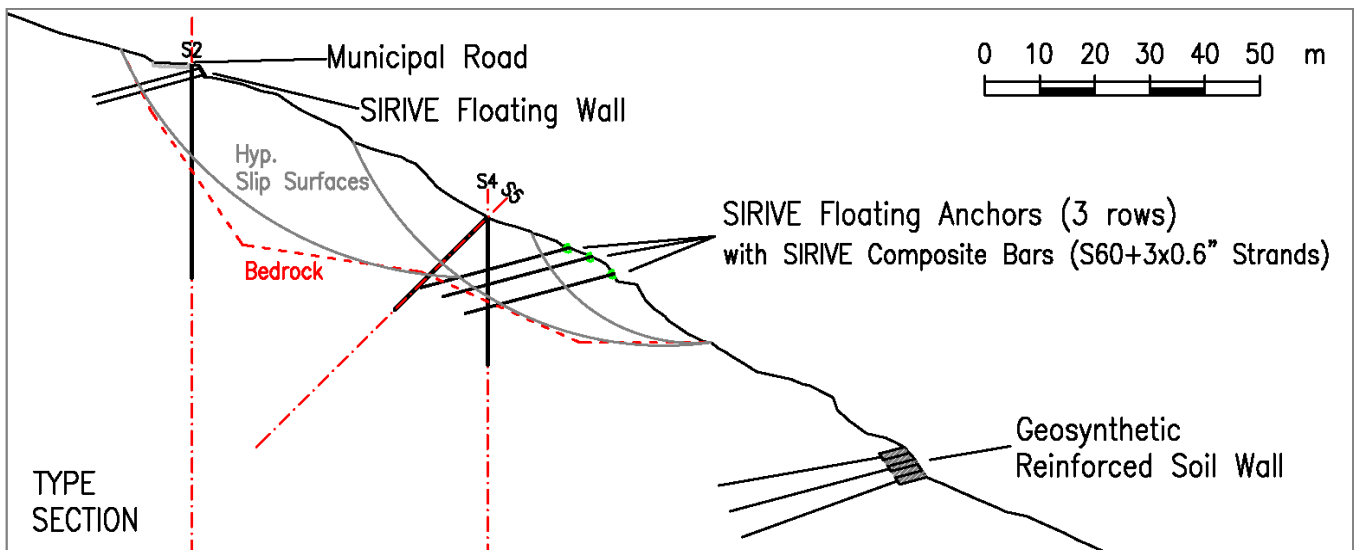


Figura 1. Frana di Val Maso: sezione tipo e opere di stabilizzazione.

Descrizione	Spost. totali max in 18 mesi [mm]	Spost. totali medi in 18 mesi [mm]	Velocità max post-intervento [mm/anno]	Velocità media post-intervento [mm/anno]
Piastre flottanti	45	32	30	16
Corpo di frana	60	20	40	26

Tabella 1. Frana di Val Maso: spostamenti e velocità del corpo frana osservati nel monitoraggio topografico.

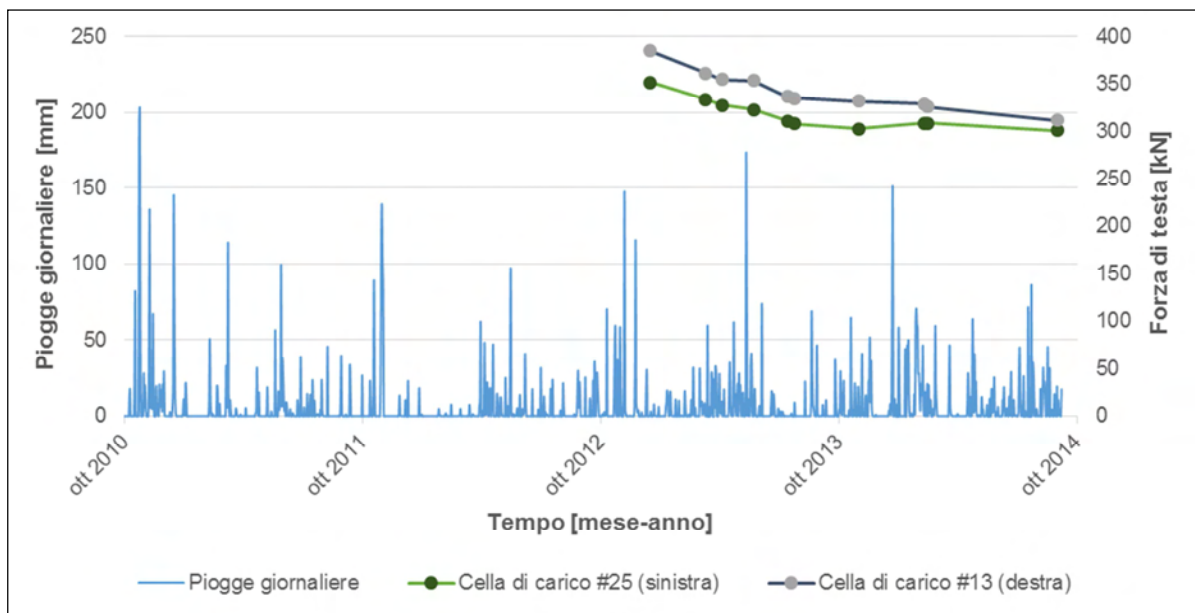


Figura 2. Frana di Val Maso: forza misurata dalle celle e correlazione con le altezze di pioggia.

4. Conclusioni

Nella nota si sono presentati i tratti principali di una tecnica di stabilizzazione di versanti soggetti a movimenti franosi denominata “ancoraggio flottante”, compromesso tra il Soil Nailing e gli ancoraggi profondi. Il lavoro svolto nel corso di un Dottorato di Ricerca ha consentito l'analisi e lo sviluppo tecnico-applicativo del sistema di rinforzo. La frana di Val Maso si è dimostrata un ottimo caso di studio per l'osservazione del loro comportamento in sito, raggiungendo una stabilizzazione praticamente completa del versante con costi nettamente inferiori se comparati a interventi tradizionali. I risultati ad oggi osservati appaiono comprovare la validità e l'efficacia tecnica del sistema.

5. Ringraziamenti

L'Ancoraggio Flottante Sirive® è un brevetto dell'impresa Dalla Gassa di Cornedo Vicentino (VI). La sua caratterizzazione teorica e sperimentale è stata oggetto di studio all'interno di un programma di Dottorato di Ricerca presso l'Università degli Studi di Padova, finanziato dall'impresa stessa. I risultati sono reperibili nel sito web www.ancoraggioflottantesirive.com. Si ringraziano coloro che hanno collaborato allo studio e allo sviluppo dell'ancoraggio flottante, in particolare la ditta Dalla Gassa, il Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Padova, gli studi professionali Geosoluzioni Engineering e Giara Engineering e l'Ufficio Difesa del Suolo della Provincia di Vicenza.

6. Bibliografia

- AGI (2012). *Ancoraggi nei terreni e nelle rocce - Raccomandazioni*. Edizioni AGI, Roma.
- Bisson A., Cola S. (2014). Ancoraggi flottanti per la stabilizzazione di movimenti franosi lenti. *Atti XXV Convegno Nazionale di Geotecnica, Baveno, 4-6 giugno 2014*, Vol. 2, pp. 327-334. Edizioni AGI, Roma.
- Bisson A., Cola S., Dalla Gassa G. (2013). Comportamento elastoplastico di ancoraggi compositi. *Atti IARG 2013, 16-18 Settembre 2013, Perugia*.
- Bisson A., Cola S., Tessari G., Floris M. (2014). Floating Anchors in Landslide Stabilization: The Cortiana Case in North-Eastern Italy. *Engineering Geology for Society and Territory*, Vol. 2, pp. 2083-2087. Springer, Zurich.
- Floris M., D'Alpaos A., De Agostini A., Stevan G., Tessari G., Genevois R. (2012). A process-based model for the definition of hydrological alert systems in landslide risk mitigation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, Issue 12, pp. 3343-3357.
- Geotechnical Engineering Office (2008). *Geoguide 7: Guide to Soil Nail Design and Construction*. Hong Kong.
- Gudehus G., Schwarz W. (1985). Stabilization of creeping slopes by dowels. *Proceedings of 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco*, Vol. 3, pp. 1967-1700.
- ISPRA (2014). *Annuario dei dati ambientali - Edizione 2013 (Rapporto 47/2014)*. ISPRA, Roma.
- Puzrin A.M., Schmid A. (2012). Evolution of stabilised creeping landslides. *Géotechnique*, 62(6), pp. 491-501.