

Uso delle gallerie per la stabilizzazione di versanti in frana

Original

Uso delle gallerie per la stabilizzazione di versanti in frana / Peila, Daniele; Martinelli, Daniele; Luciani, Andrea. - In: GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA. - ISSN 1121-9041. - STAMPA. - 148:1(2016), pp. 61-66.

Availability:

This version is available at: 11583/2654878 since: 2016-11-02T15:18:53Z

Publisher:

Patron Editore

Published

DOI:

Terms of use:

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

Publisher copyright

(Article begins on next page)

Uso delle gallerie per la stabilizzazione di versanti in frana

Daniele Peila*
 Daniele Martinelli*
 Andrea Luciani*

* DIATI, Politecnico di Torino, Italia

L'uso del sottosuolo per la gestione idrogeologica del territorio e per la bonifica delle frane è una soluzione efficace ed ampiamente utilizzata nel mondo. Nel lavoro dopo un inquadramento generale dell'argomento vengono illustrati alcuni casi studio di particolare interesse.

Parole chiave: frane, drenaggio profondo, gallerie.

Use of tunnels for landslide stabilization. Underground space for hydrogeological management and for landslide stabilization is a feasible solution and it is widely used worldwide. In this work, after a preliminary overview of the problem, some particularly important case histories are presented and shortly discussed.

Keywords: landslide, deep drainage, tunnels.

1. Introduzione

I contributi al miglioramento della gestione sociale, economica e territoriale della comunità, che si possono ottenere dall'utilizzo dello spazio sotterraneo sono noti, come si può evincere dalle numerose applicazioni ingegneristiche, ma gli usi riguardanti la protezione idrogeologica dello spazio sotterraneo sono meno noti, anche in relazione al limitato numero di esempi. La tab. 1 sintetizza i principali usi dello spazio sotterraneo nel mondo mentre la tab. 2 sottolinea, invece, le applicazioni per la protezione idraulica, idrogeologica e, più in generale, per interventi per la protezione territoriale.

Due diversi tipi di intervento possono essere identificati, a seconda che essi siano dedicati al drenaggio delle acque sotterranee o alla deviazione di acque superficiali in presenza di eventi di piena. La necessità della loro costruzione in sotterraneo, inevitabile nel primo caso e spesso anche nel secondo, di solito per ragioni di sicurezza, per mancanza di spazio

esterno, come per esempio si sta osservando nelle megalopoli dei paesi in via di sviluppo, per inconvenienti legati alle caratteristiche morfologi-

che del terreno e a causa di vincoli paesaggistici od ambientali (un lavoro sotterraneo ben fatto consente notevoli vantaggi in termini di mitigazione dell'impatto ambientale).

Un'analisi comparativa dei costi può mostrare come quelli riguardanti gallerie possono essere sostanzialmente abbattuti dato che, spesso, le opere idrauliche analizzate hanno lunghezza e diametro tali da giustificare l'utilizzo di macchine di scavo a piena sezione che possono consentire di eseguire le opere in tempi relativamente rapidi in particolare in condizioni di emergenza.

Tab. 1. Principali usi dello spazio sotterraneo per applicazioni di tipo civile.
 Main uses of the underground spaces for civil engineering applications.

Grandi strutture tecnologiche	<ul style="list-style-type: none"> - Stazioni di telecomunicazione - Centri di ricerca - Impianti per lo stoccaggio e trattamento delle acque - Grandi depositi (magazzini a bassa temperatura di idrocarburi, archivi, magazzini di inerti, serbatoi per lo stoccaggio di aria compressa e acqua calda) - Gallerie ed opere sotterranee connesse a centrali idroelettriche - Strutture per la difesa territoriale - Depositi di scorie - Impianti industriali - Tunnel tecnologici, accessi di servizio e vuoti (per cavi elettrici, acquedotti, fognature, reti di cablaggio per la trasmissioni di dati e telecomunicazioni)
Infrastrutture di transito e trasporto	<ul style="list-style-type: none"> - Gallerie extra-urbane ad uso stradale e ferroviario - Gallerie urbane per strade, metropolitane e ferrovie, con relative infrastrutture e gallerie di servizio e stazioni - Parcheggi sotterranei - Passaggi pedonali sotterranei - Funicolari
Strutture civili ad uso abitativo, lavorativo, culturale e ricreativo	<ul style="list-style-type: none"> - Abitazioni - Laboratori e officine - Centri commerciali - Serre (parzialmente in sotterraneo) e cantine - Ospedali - Cinema, teatri, biblioteche, centri congressi e poli fieristici, auditorium, altre attività culturali e sociali d'incontro
Strutture militari	<ul style="list-style-type: none"> - Centri strategici - Depositi di munizioni e armi - Hangar per aeroplani, navi, sottomarini e altri mezzi di trasporto - Rifugi antiaerei e antiatomici
Miniere	<ul style="list-style-type: none"> - Miniere e relativi vuoti minerari

Lavoro presentato al Convegno SIG "Il buon uso del suolo e del sottosuolo nella prevenzione dei dissesti ambientali", Milano 8-9 ottobre 2015.

Tab.2. Strutture sotterranee dedicate agli interventi di difesa territoriale e protezione da eventi catastrofici naturali come frane ed alluvioni.

Underground structures used as land and environment. Protection from natural catastrophic events as landslides and floods.

Tipo di opera	Uso
Gallerie	Interventi di stabilizzazione in profondità
Gallerie	Protezione caduta massi e valanghe
Canali di scolo, deviatori e gallerie di by-pass	Deviazione di acque superficiali
Gallerie di drenaggio	Drenaggio delle acque
Pozzi di drenaggio	Drenaggio delle acque

2. Uso delle gallerie per la stabilizzazione di frane

La soluzione ingegneristica per la stabilizzazione di una frana, soprattutto quando di grandi dimensioni, richiede da un lato la collaborazione tecnica multidisciplinare di ingegneri, geologi, idrogeologi, progettisti del territorio e paesaggio, dall'altro richiede che anche gli esperti ed i tecnici della pubblica amministrazione definiscano il livello di rischio accettabile, tenendo conto della disponibilità finanziaria necessaria per realizzare gli interventi. In questo settore lo sviluppo di un'analisi di rischio correttamente sviluppata è uno dei temi più importanti, e delicati, che deve essere affrontato.

Tra le cause più importanti che innescano e movimentano le frane quello fondamentale e sul quale è più facile intervenire è certamente la presenza di acqua, sia superficiale che sotterranea. Pertanto, in questo contesto, le opere in sotterraneo possono svolgere un ruolo importante, visto che consentono di intercettare e drenare facilmente l'acqua in profondità, spesso agendo al di sotto delle superfici di scivolamento.

2.1. Cause dell'instabilità dei versanti

Una sintesi delle cause fondamentali di instabilità dei versanti, suddivisi in fattori predisponenti, ovvero quei fattori intrinseci di stabilità fondamentale collegati alle caratteristiche litologiche, strutturali e meccaniche dei materiali geologici, e in fattori scatenanti che innescano il movimento frano per esempio per precipitazioni intense e attività sismica. In questo quadro semplificato, si sono evidenziati (con il simbolo \Leftarrow) gli ambiti dove è possibile ridurre le cause di instabilità mediante le opere sotterranee.

In linea generale, pertanto, i fattori che possono portare all'instabilità di un versante possono essere suddivisi in:

Fattori che rimuovono materiale dal corpo di frana

- erosione del piede del versante a causa dell'acqua; \Leftarrow
- erosione prodotta da moti ondosi o correnti in corrispondenza di aree costiere;
- scioglimento di ghiacciai;
- attività di scavo (per edifici, strade, canali etc.) ai piedi di un versante; \Leftarrow
- rottura di opere di sostegno al piede di un versante.

Fattori che sovraccaricano il corpo di frana

- sovraccarico del manto nevoso;
- formazione o accumulo di materiale sciolto sulla parte superiore del versante;
- nuove infrastrutture stradali, aree di scarica di inerti o rifiuti, edifici, vegetazione;
- carico idraulico dovuto a perdite da tubazioni, fognature, bacini o canali. \Leftarrow

Fattori che introducono aree instabili in sotterraneo

- attività carsica in rocce carbonatiche;

- disgregazione di formazioni gessose;
- attività mineraria.

Fattori che inducono stati di sollecitazione anomali

- congelamento dell'acqua nelle fratture;
- fenomeno di rigonfiamento di terreni argillosi.

Fattori che esercitano forze transitorie in superficie

- attività vulcanica;
- attività sismica;
- esplosioni;
- traffico stradale e ferroviario; \Leftarrow

Fattori che dipendono dalla geometria delle fratture nel sottosuolo e dalle caratteristiche degli strati presenti

- variazione del contenuto d'acqua nel terreno e del livello della falda; \Leftarrow
- presenza di falde in pressione \Leftarrow

2.2. Uso di strutture sotterranee per la stabilizzazione dei versanti

Nella stabilizzazione di un versante, gli interventi geotecnici che sono adottati per aumentare il fattore di sicurezza globale del fronte sono scelti in funzione delle caratteristiche geometriche dell'instabilità e dei fattori che inducono e attivano l'instabilità stessa. Inoltre, nella progettazione dell'intervento di stabilizzazione, è necessario tenere in considerazione la presenza e l'importanza di ogni infrastruttura (civile, industriale, ferroviaria etc.) che potrebbe essere presente in superficie e che deve essere protetta. Su queste basi, i tipi di strutture sotterranee che possono contribuire all'aumento del fattore di sicurezza di una frana o scivolamento su un pendio sono:

- *interventi che riducono l'erosione causata da flussi d'acqua alla base del pendio*

Questi interventi hanno lo scopo di ridurre l'erosione al piede

di una pendenza causata da flussi d'acqua. La progettazione richiede un accurato studio preliminare delle dinamiche fluviali e dell'evoluzione geomorfologica del letto del fiume. In questo senso, le opere sotterranee possono portare notevoli vantaggi e possono permettere il totale o parziale superamento della zona interessata;

- interventi che permettono la riduzione della pressione interstiziale all'interno del pendio (drenaggio profondo). In questo caso le principali opere che possiamo considerare sono le gallerie drenanti munite di dreni di piccolo diametro radiale ed i pozzi.

a) gallerie drenanti

Questi interventi possono essere adottati per stabilizzare pendii di grandi dimensioni o in situazioni idrogeologiche che comportano la necessità di agire su flussi idrici concentrati lungo percorsi preferenziali (aree di faglia o ad intensa fratturazione, contatti tra ammasso roccioso e terreno superficiale) o in aree dove possono instaurarsi sovrappressioni idrauliche.

La loro costruzione richiede un'accurata indagine preliminare in modo da poter essere in grado di ricostruire il modello evolutivo-fisico e geometrico della frana e della circolazione idrica sotterranea. Lo studio idrogeologico è infatti fondamentale per posizionare e dimensionare le gallerie drenanti e la rete di drenaggio collegati ad essa in modo ottimale in base al flusso d'acqua che è necessario drenare. Inoltre nella progettazione di una galleria di drenaggio è necessario evitare il rischio di ulteriori movimenti del pendio indotti dallo scavo.

Questo tipo di gallerie sono di solito di sezioni modeste, e possono essere vuote all'interno o riempite di materiale drenante, seguendo gli stessi criteri che si utilizzano per le trincee. Il raggio d'influenza delle gallerie di drenaggio può essere aumentato grazie a dreni subverticali, tubi di drenaggio e pozzi

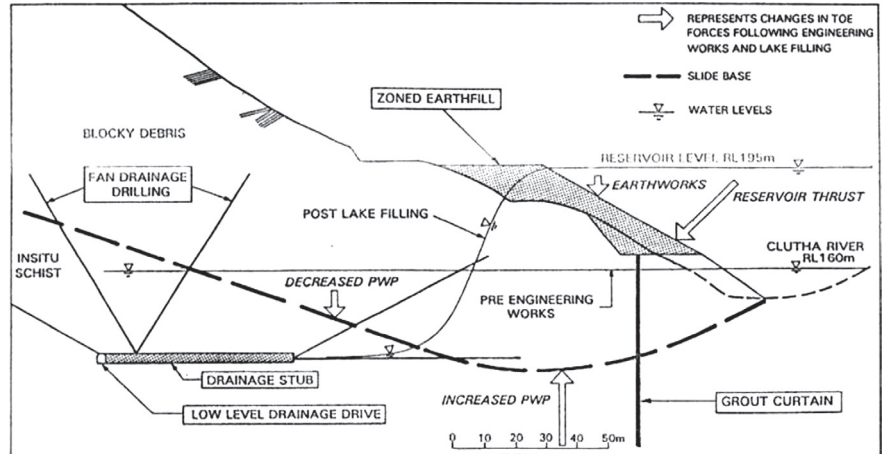


Fig. 1. Schema planimetrico dell'intervento realizzato per stabilizzare il grande scivolamento di Brewery Creek (Nuova Zelanda), che ha un volume in movimento 150 milioni di m³, una larghezza alla base di 2.4 km e una profondità del piano di scorrimento di 150 m dalla superficie.

Scheme of the intervention realized to stabilize the brewery creek landslide (New Zealand), which has a volume of 150 million cu. m., a width of 24 km and depth of the sliding plane of 150 m from the surface.

di drenaggio associati, come si può vedere nell'esempio di fig. 1, che si riferisce alla stabilizzazione della grande frana Brewery Creek in Nuova Zelanda localizzata sulle sponde del lago idroelettrico di Clyde con un volume di 150 milioni di m³ ed una larghezza al piede di circa 2 km o alla frana di Taren nel Galles del sud nel quale il movimento franoso coinvolge oltre 8 milioni di m³ di limo sabbioso ed arenaria fratturata in scivolamento su strati di marna debole (figs. 2 e 3).

In ambito mondiale queste applicazioni sono considerate inso-

stituibili per interventi su grandi scivolamenti di versante infatti la galleria di drenaggio è il modo più semplice di per accedere in prossimità della superficie di scorrimento che può essere intercettata dai dreni radiali che vengono perforati dalla galleria. Uno dei vantaggi della galleria è che i dreni possono essere facilmente raggiunti per manutenzione ed eventualmente possono essere integrati e/o potenziati nel tempo.

Una galleria drenante presenta altri notevoli vantaggi rispetto ad altre opere innestate nel terreno (come ad esempio il drenaggio

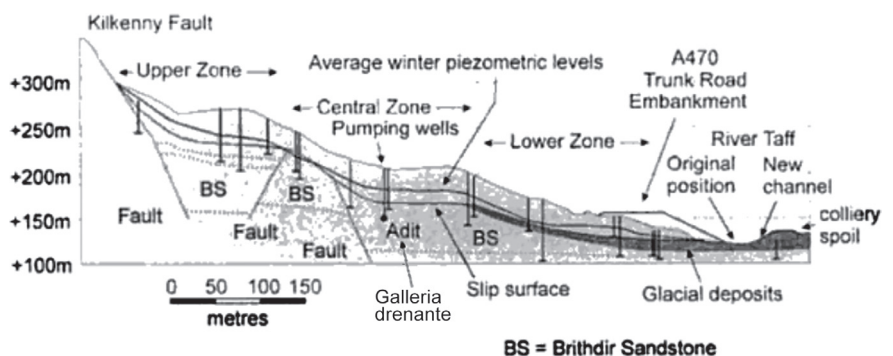


Fig. 2. Sezione trasversale della frana di Taren (Kelly e Martin, 1985) con indicazione della posizione della galleria drenante

Selection of the Taren landslide (Kelly e Martin, 1985) with the indication of the drainage tunnel.

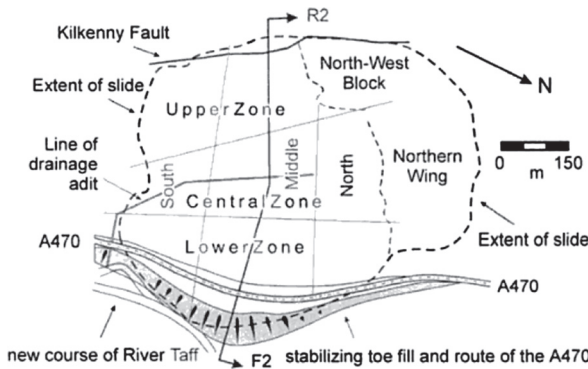


Fig. 3. Planimetria della frana di Taren (Kelly e Martin, 1985) con indicazione della posizione della galleria drenante.

Plan view of the Taren landslide (Kelly e Martin, 1985) with the indication of the drainage tunnel.

dall'esterno o pozzi):

- può essere costruita in terreno stabile sotto o in prossimità della massa in movimento, senza doverla intercettare e quindi riducendo il rischio di rottura o cedimenti in corrispondenza della superficie di scivolamento;
- permette di moltiplicare gli elementi drenanti senza intervenire sulla superficie del terreno;
- ha un solo ingresso (o al massimo due, uno per ciascuna estremità) e quindi il suo impatto ambientale è limitato.

b) pozzi di grande diametro

Si tratta di opere di drenaggio co-

stose, che sono giustificabili per opere civili di grandi dimensioni. Questi sono scavi sostenuti con anelli di calcestruzzo armato, con diametri che variano tra i 3 e i 12 m e dotati di rivestimento drenante nella parte superiore eventualmente integrato da raggiere di drena.

Lo scarico dell'acqua avviene per gravità attraverso derive o tubi di drenaggio sub-orizzontali. I pozzi vengono solitamente disposti ad intervalli lungo una fila perpendicolare alla direzione del movimento.

c) pozzi di drenaggio connessi al drenaggio di base

Questi sono pozzi di medie dimensioni (1-2 m di diametro) e

sono collegati da una perforazione di drenaggio alla loro base. Una descrizione dettagliata di questi interventi può essere trovata in Bianco (1988) e in Peila *et al.* (1992).

2.3. Esempi di uso di gallerie per la stabilizzazione di frane

Tra i numerosi esempi interessanti di drenaggio di pendii instabili utilizzando un tunnel di drenaggio si può citare l'intervento di protezione per l'autostrada Adriatica, lungo un pendio instabile vicino a Grottomare, tra Ancona e Porto d'Ascoli, Italia (Pigorini, 1973) (fig. 5). La presenza di uno strato di elevata permeabilità all'interno del pendio avente depositi alluvionali alla sua sommità aveva causato numerosi eventi di scivolamento, anche di notevole entità. In vista dello scavo attraverso il pendio di una galleria stradale, con lo scopo di migliorare la stabilità del pendio stesso, anche a lungo termine, sono stati preparati alcuni interventi finalizzati a stabilizzare il pendio. La galleria di drenaggio ha 2.3 m di diametro e una lunghezza di circa 260 m ed è stata scavata, in uno strato roccioso stabile.

Dal tetto della galleria tetto partono 44 drenaggi verticali che raggiungono la falda acquifera abbassando quindi la pressione interstiziale, fino a portare in condizioni di condizioni di stabilità la frana.

Un altro esempio interessante di stabilizzazione di una frana medie dimensioni con una galleria è il movimento franoso che interessa l'autostrada "dei Fiori" a Spotorno (SV), dove una galleria lunga 200 metri è stata scavata dietro la superficie di frana per drenare la falda (fig. 6) e quindi stabilizzare il pendio.

Molto significativo è l'esempio dello scivolamento di Campo Valle-maggia nel quale un volume di circa 400 milioni di m³ di roccia metamorfica fratturata è in movimento per una profondità di circa 300 m

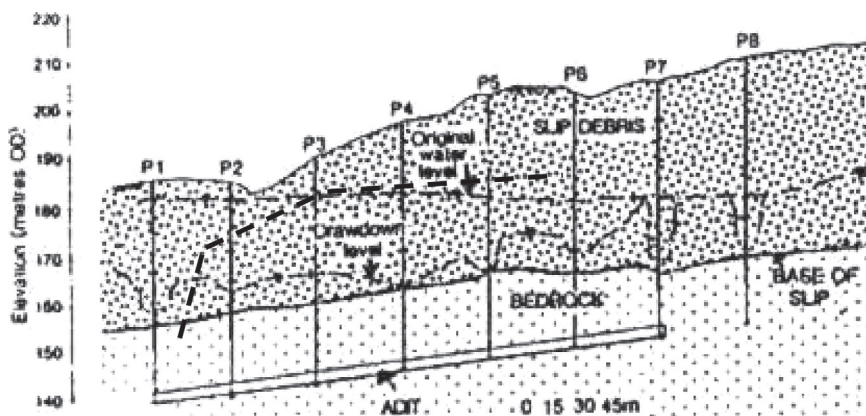


Fig. 4. Interventi di drenaggio installati per stabilizzare lo scivolamento di Taren (Galles del Sud, UK). La sezione è tracciata lungo la direzione dei pozzi drenanti. È possibile evidenziare l'abbassamento del livello della falda per effetto dell'azione dei pozzi.

Drainage interventions installed to stabilize the Taren landslide (south wales). The section is traced along the direction of the drainage wells. Also the drop of the water table after the interventions is shown.

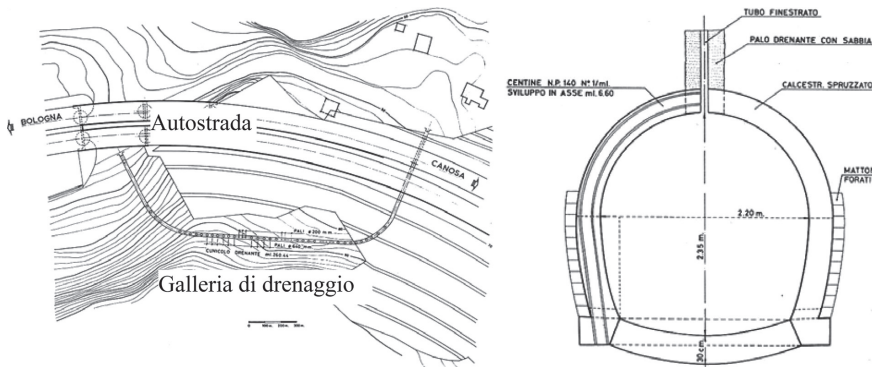


Fig. 5. Esempio di intervento di Grottamare (Pigorini, 1973).
Example of the Grottamare intervention (Pigorini, 1973).

(Beatrizotti e Bertola, 1998). Attività di ricerca e monitoraggio hanno portato alla conclusione che la causa di questo fenomeno è rappresentata dall'acqua in pressione in uno strato geologico basale della massa in mo-

vimento. Per ovviare a questo problema è stata quindi scavata nella parte profonda, al di sotto dei volumi in movimento, in roccia stabile, una galleria di drenaggio, dalla quale sono stati praticati dreni verticali per

abbassare la pressione interstiziale.

Analogamente interessante è l'intervento sulla frana di Po Shan a Hong Kong che si è manifestata nel 1972 ed ha causato oltre 67 morti in un'area estremamente urbanizzata (fig. 7).

L'intervento di scavo delle gallerie è stato realizzato mediante delle fresa TBM aperte con notevoli limitazioni in relazione alla disponibilità dell'area di cantiere (estremamente limitata) ed alle tempistiche operative e lavorative.

3. Controllo per l'erosione di fiumi e torrenti

L'uso di opere in sotterraneo per il controllo dell'erosione di fiumi e torrenti permette di:

- realizzare dei by-pass per laminare le portate di piena;
- svuotare bacini potenzialmente inondabili.

Tra questi interventi, si può ricordare in Italia la galleria di quasi 10 km di lunghezza in sezioni nette di 50 m² (costruita nella seconda metà degli anni Cinquanta) che collega il fiume Adige con il lago di Garda (Nord Italia), con lo scopo di scaricare i picchi di piena del fiume Adige consentendo un flusso di 5000 m³/s (Da Deppo et al., 1995). Si può an-

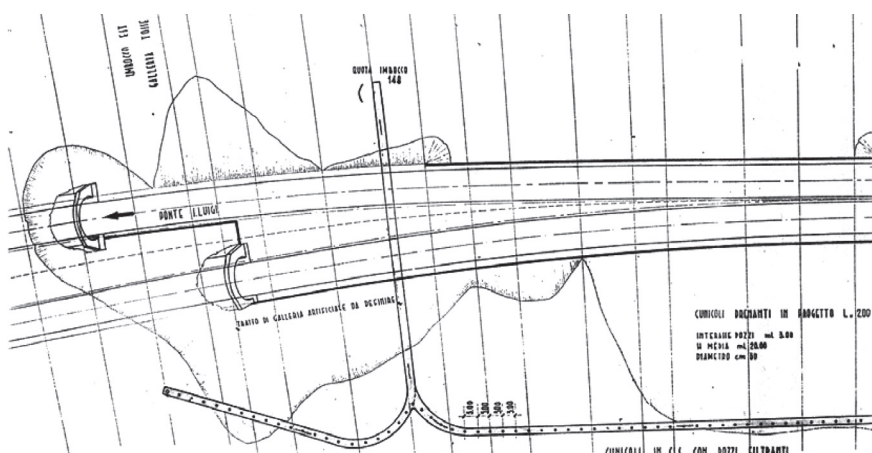


Fig. 6. Schema planimetrico del sistema di drenaggio adottato nei pressi dell'autostrada "dei fiori" presso Spotorno (SV).
Plan view of the drainage system used in the vicinity of the "dei fiori" highway near Spotorno (SV).

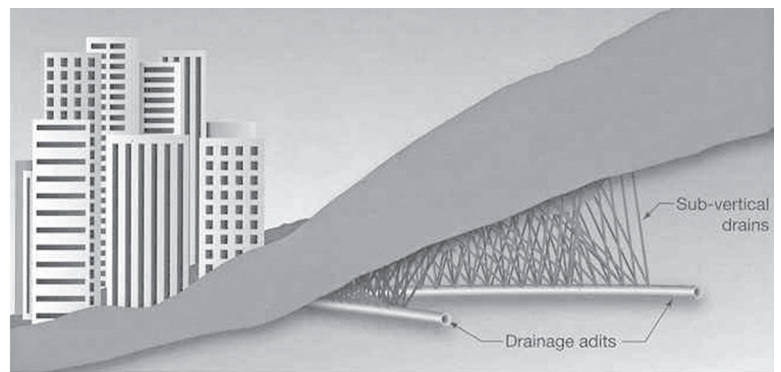


Fig. 7. Vista della frana di Po Shan ad Hong Kong (www.transportscotland.gov.uk/report/j10107-22.htm) e vista tridimensionale dell'intervento drenante mediante due gallerie drenanti (www.tunnelonline.info) realizzate per il drenaggio della coltre alterata in occasione di eventi piovosi intensi.

View of the po shan landslide in Hong Kong (www.transportscotland.gov.uk/report/j10107-22.htm) and 3d view of the drainage intervention through the use of two drainage tunnels (www.tunnelonline.info), realized for the drainage of the weathered layer during intense rainfalls.

che menzionare l'esempio di Pizzo Coppetto, uno scivolamento in Valtellina, dove, nel 1987, 40 milioni di metri cubi di roccia hanno formato un cumulo di materiale per una lunghezza di circa 2.5 km. Questo evento ha interrotto il flusso del fiume Adda ed ha provocato uno straripamento di 18 milioni di metri cubi. Lo svuotamento del bacino (che una volta rinforzato è diventato una cassa di laminazione per controllare eventuali piene del fiume Adda) è stato quindi effettuato tramite due gallerie (con diametro rispettivamente di 4.2 e 6 m, interasse circa 15 m e lunghezza di circa 3 km ciascuna) le quali possono garantire un deflusso fino a 400 metri cubi al secondo.

Spettacolare, per importanza e dimensioni, risulta essere il Metropolitan Area Outer Underground Discharge Channel a Tokyo che è la maggiore opera di controllo delle acque superficiali al mondo per controllare il rischio di alluvioni durante le piogge intense ed la stagione dei tifoni. Il progetto che è stato completato nel 2009 consiste di 5 pozzi cilindrici di 32 m di diametro e 65 m di altezza collegati da 6.4 km di gallerie scavate a 50 m di profondità. Opere analoghe sono in costruzione od in progetto in molte megalopoli asiatiche soggette al rischio di alluvioni ma anche la città di Calgary in Canada per esempio sta studiando, dopo l'alluvione del 2012, una galleria scolmatore per proteggere la città.

4. Conclusioni

L'utilizzo di opere sotterranee per la protezione idrogeologica è un estremamente interessante ed efficace, come dimostrato dai alcuni esempi significativi nel mondo ed è interessante osservare come il numero e l'importanza di queste opere stia crescendo sempre di più per aumentare la resilienza delle aree urbane agli eventi estremi.

Le gallerie e altre opere in sotter-

raneo hanno sicuramente costi e difficoltà di pianificazione maggiori rispetto ad altri tipi di interventi ma, in presenza di grandi instabilità idrogeologiche, in aree molto popolate o di importanza paesaggistica, offrono una soluzione ottimale in termini di efficienza e di qualità del risultato finale.

Bibliografia

- Beatrizzotti, G., Bertola, P.F. (1998) La stabilizzazione dello scivolamento di Campo Vallemaggia: risultati e modelli interpretativi, Convegno su: rischio idrogeologico, opere di difesa ed uso del territorio nel canavese, GEAM, Ivrea, pp. 79-88
- Carmody, J., Sterling, R. (1993) Underground Space Design, Van Nostrand Reinhold.
- Cotecchia, V. (1993) Opere in sottoterraneo: rapporto con l'ambiente, Atti del XVIII Congresso di Geotecnica, AGI, Rimini, 11-13 maggio, Vol. II, pp. 145-190.
- Da Deppo, L., Datei, C., Salandrin, P. (1995) Sistemazione dei corsi d'acqua, Edizioni Libreria Cortina, Padova, pp. 366-376.
- Eberhardt, E., Bonzanigo, L., Loew, S. (2007) Long-term investigation of a deep-seated creeping landslide in crystalline rock. Part II. Mitigation measures and numerical modelling of deep drainage at Campo Vallemaggia. Canadian Geotechnical Journal, 44, 1181-1199.
- Jennings, D.N., Newton, C.J., Beetham, R.D., Smith, G. (1991) Stabilization of the Nine Mile Creek shist landslide complex, Sixth Int. Cong. on Landslides, Christchurch, New Zealand.
- Gillon, M.D., Graham, C.J., Grocott, G.G. (1991) Low level drainage works at the Brewery Creek Slide, 6th Int. Cong. on Landslides, Christchurch, New Zealand.
- Holtz, R.D., Schuster, R.L. (1996) Stabilization of soil slopes, in. Landslides, TRB, Special Report 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, Martin, P.L. e Waren, C.D. (1991) The design and performance of drainage measures installed for the stabilization of Talren Landslide, South Wales, UK; 6th Int. Cong. on Landslides, Christchurch.
- Matti, B., Tacher, L., Commend, S. (2012) Modelling the efficiency of a drainage gallery work for a large landslide with respect to hydrogeological heterogeneity www.ingentaconnect.com/content/nrc/cgj;jsessionid=4op7o6p5m7d2a.alexandra, Volume 49, Number 8, pp. 968-985.
- Newton, C.J. e Smith, G. (1991) Dewatering of the Nine mile Creek Landslide, 6th Int. Cong. on Landslides, Christchurch, New Zealand.
- Peila, D., Lombardi, F., Manassero, V. (1992) Stabilization of landslides using large diameter wells, 6th Int. Symp. on Landslides, Christchurch, pp. 813-819.
- Pelizza, S. (1997) L'utilizzo di opere in sottoterraneo per interventi di sistemazione idrogeologica, Atti del IX congresso Nazionale dei Geologi, Roma 17-20 Aprile, pp. 410-415.
- Pigorini, B. (1973) Consolidamento di una pendice franosa a Grotta-mare fra Ancona e Porto d'Ascoli, Autostrade, pp. 22-25.
- Popescu, M.E. (2001) A suggested method for reporting landslide remedial measures. IAEG Bulletin 60(1), pp. 69-74.
- Saotome, T. (1988) Influence of water inflow for tunnelling and countermeasures. Proc. Cong. Tunnels and water, pp. 597-598.
- TRB – Transportation Research Board (1996) – “Special Report – Landslides Investigation and Mitigation”, National Academy of Sciences, Washington DC
- Kolev, T., Tzonev, A. (1991) Le galerie de drainage comme la solution générale contre le glissement profonds de la ville de Balchik, 6th Int. Cong. on Landslides, Christchurch, New Zealand.