

Un esempio di protezione di portali di gallerie autostradali: il ruolo delle indagini e dei monitoraggi.

O.Del Greco

C.Oggeri

DITAG, Politecnico di Torino

Sommario.

La nota illustra gli interventi realizzati a protezione delle strutture autostradali poste a ridosso del promontorio di Siestro, a Ventimiglia. In tale contesto la necessità di conseguire una pressoché totale eliminazione delle condizioni di rischio per l'utenza ha comportato una fase di studio preparatoria basata su indagini in sito, la scelta di interventi efficaci e il monitoraggio delle condizioni strutturali del versante.

Abstract.

The note refers about the protection and reinforcement works carried out at the Siestro hill, near Ventimiglia, for the safety of the highway structures. In this site the requirements for avoiding any risk for the traffic have been taken into account, through a preliminary feasibility study with the in situ surveys, the selection of proper works and finally by means of the monitoring of the geostructural features of the slope.

Resumé

L'article examine les travaux pour le renforcement et la protection de l'autoroute A10 à Siestro, pres de Ventimiglia. La nécessité de poursuivre une sécurité complete pour le trafic a déterminé l'approche à partir de l'étude préliminaire, aux investigations sur le site et à la selection des travaux efficients, jusq'à le monitoring des conditions de la stabilité du rocher.

1. Aspetti generali del caso

A caratterizzare il problema tecnico illustrato in questa relazione concorrono diversi aspetti che lo rendono peculiare: la condizione morfologica del pendio, la condizione geologica-strutturale della massa rocciosa, la presenza dell'imbocco di due gallerie gemelle e della sede autostradale alla base del pendio.

La necessità di operare una bonifica del pendio, nel quale sono state individuate diverse situazioni di criticità, e l'esigenza concomitante di non interferire con il traffico veicolare dell'autostrada (il tratto in questione può essere considerato uno dei più nevralgici in Italia) ha poi fortemente condizionato la scelta delle tecniche di intervento e delle modalità operative per la loro realizzazione.

Il caso in esame riguarda la condizione di rischio esistente all'imbocco di due gallerie gemelle dell'Autostrada dei Fiori che attraversano il promontorio di Siestro e, procedendo verso il confine con la Francia, sbucano sul piazzale dei caselli a Ventimiglia.

Il pendio immediatamente al di sopra dell'imbocco delle gallerie presenta due tratti subverticali di parete rocciosa, rispettivamente dell'altezza di 50 m quello inferiore e 40 m quello superiore, separati da una "cengia" di larghezza variabile e inclinata di circa 40°.

La formazione rocciosa soprastante i portali delle gallerie autostradali costituisce un unico dominio strutturale caratterizzato da un conglomerato a clasti di dimensioni pluricentriche, di materiale prevalentemente calcareo, di colore da grigio a bruno-giallastro, ben cementati da una abbondante matrice a struttura arenacea.

La massa rocciosa appare stratificata in potenti banchi in cui si alternano orizzonti arenacei. Gli strati presentano una giacitura unica e si immergono a S-SE con un'inclinazione di circa 20°. Con riferimento alle superfici esposte del pendio, la cui direzione è prevalentemente NS, la giacitura delle stratificazioni è quindi favorevole alla stabilità anche considerando che non si riscontrano nella massa discontinuità evidenti coincidenti con le superfici di strato.

Sono invece presenti alcune importanti fratturazioni subverticali che possono, in taluni casi, isolare volumi rocciosi di potenziale instabilità.

Da un blocco prelevato dalla massa rocciosa è stato possibile ricavare un provino cubico di 26 cm di lato le cui dimensioni, in rapporto a quelle dei singoli clasti, lo rendono sufficientemente rappresentativo del materiale in sito.

Su di esso è stata determinata la massa volumica, pari a 2500 kg/m³, e la resistenza alla compressione uniassiale pari a 16,4 MPa. Da quest'ultimo valore è stato dedotto, attraverso correlazioni indirette, un valore di coesione del materiale roccioso di 1,6 MPa.

Le indagini effettuate in sito hanno riguardato:

- osservazioni dirette e valutazioni di carattere geologico;
- rilievi geofisici con l'uso di tomografia elettrica e georadar;
- rilievo topografico e geostrutturale da elicottero.

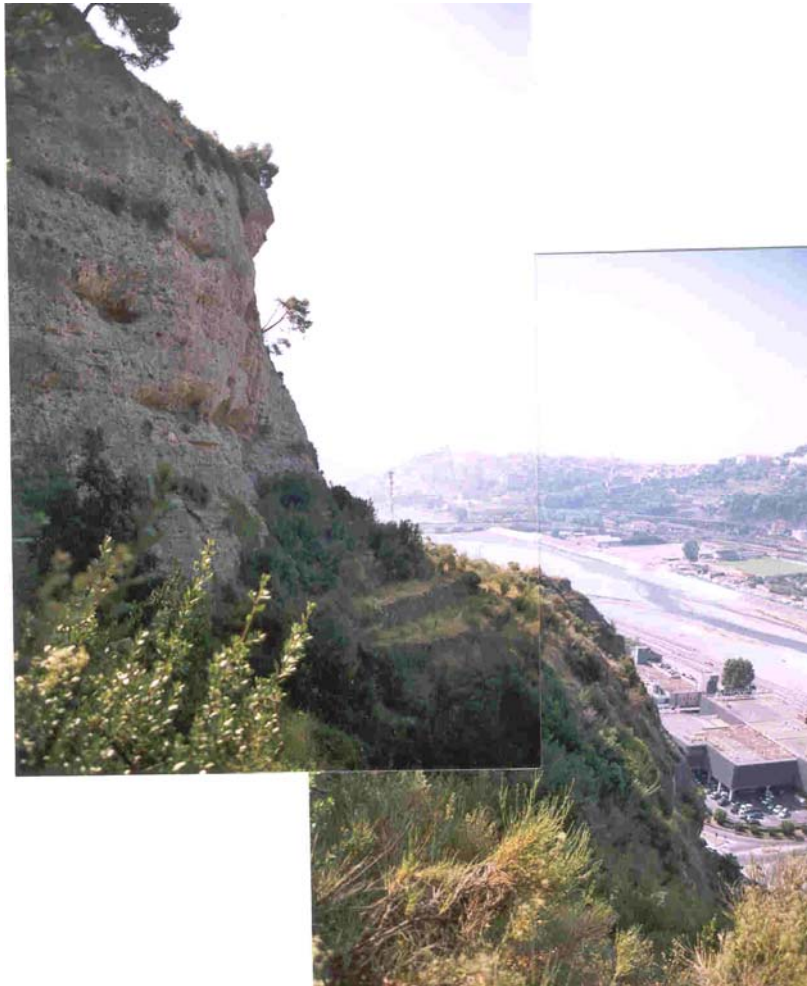


Fig.1. Vista laterale delle due scarpate e della cengia terrazzata intermedia incumbenti sui portali delle gallerie autostradali.

Side view of the two slopes and intermediate debris layer above the tunnel portals.

Tali indagini hanno messo in evidenza diverse, potenziali situazioni di instabilità, fra le quali due sono state ritenute più significative per il rischio connesso alla viabilità nella sottostante sede stradale. Tali situazioni possono così descriversi:

- un volume roccioso denominato “naso” (Fig.2), presente nella parte più elevata della parete rocciosa superiore, al di sopra del portale Sud, delimitato da una frattura molto inclinata; alla sua base tale volume appare, almeno parzialmente, legato alla massa rocciosa continua. Il volume di questa porzione può essere valutato in almeno 120 m^3 . Il suo distacco, con un fenomeno di scivolamento e crollo, ne provocherebbe la caduta sulla cengia intermedia dell'intero pendio, la parziale disgregazione e da qui l'ulteriore caduta verso la sottostante carreggiata autostradale;

- la presenza di una coltre di materiale detritico e altre strutture nella zona di “cengia” che separa i due tratti subverticali di pendio che sovrastano le gallerie. Tale zona, che presenta un’inclinazione di 40°, comunque notevole, è interessata dalla presenza di materiale detritico che le indagini di tomografia elettrica hanno mostrato essere costituito da uno strato più superficiale, dello spessore di 2-4 m, ed uno sottostante, leggermente più spesso, più addensato e probabilmente interessato da circolazione idrica. Lo strato più profondo è identificabile come zona di alterazione del conglomerato naturale (Fig.).

Questo cospicuo materasso di suolo detritico è stato, in passato, sede di attività agricola grazie alla realizzazione di terrazzamenti con muri a secco. L’abbandono dell’attività agricola e delle manutenzioni ad essa connesse ha iniziato a produrre un graduale deterioramento delle condizioni di stabilità di questa parte della struttura, che, date le sue caratteristiche morfologiche, non deve essere trascurato quanto ai potenziali fenomeni di instabilità.

I problemi connessi a tale materiale sono quelli di franosità di materiale incoerente. Ciò è tanto più vero se si considera che l’area di “cengia” è interessata, nei periodi di maggiore piovosità, dall’afflusso in cascata di notevoli volumi idrici, provenienti dall’impluvio e dalla parete sovrastanti, che nel tempo hanno trovato vie di scorrimento che non interferiscono con le sedi stradali;

- infine, volumi rocciosi di piccole dimensioni possono staccarsi dal versante roccioso sovrastante la cengia detritica, specie in occasione di interventi dedicati alla stabilizzazione del già citato volume roccioso, denominato “naso”.

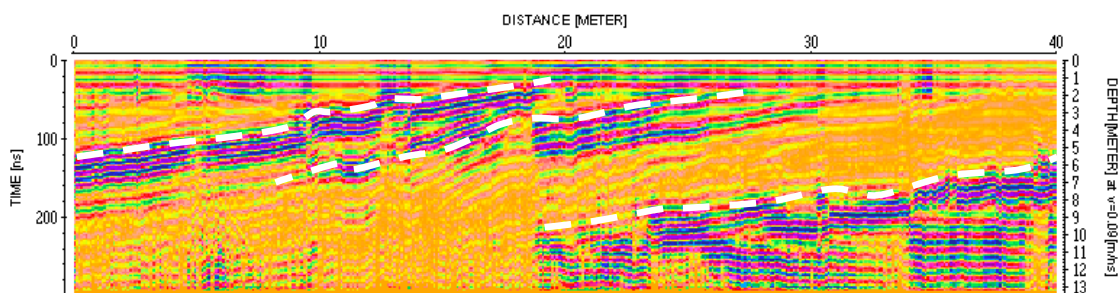


Fig.2. Dettaglio dell'immagine georadar e dell'ubicazione dello sperone roccioso isolato ubicato su una scarpata subverticale sovrastante l'autostrada.

Details of the the georadar survey carried out along the isolated rock slope above the Highway

La disponibilità di una dettagliata restituzione topografica e la esatta delimitazione dei volumi rocciosi, anche conseguente a rilievi geofisici in corrispondenza degli accumuli detritici, ha indito permesso di effettuare le analisi di stabilità relative sia alla coltre detritica sia ai suddetti volumi ancora in posto. Le analisi sono state effettuate attraverso le usuali tecniche di verifiche con il metodo all'equilibrio limite, ipotizzando condizioni di incipiente mobilizzazione del detrito solo a seguito di ingenti precipitazioni o variazioni geometriche del pendio (a seguito di risagomature o scalzamenti accidentali dei terrazzamenti già esistenti).

In modo analogo sono state elaborate simulazioni di caduta massi, ponendo particolare enfasi alla parametrizzazione dei coefficienti di restituzione dei materiali presenti. In tabella sono riportati i valori medi dei parametri impiegati nella modellazione di caduta di masse puntiformi.

Strutture geologiche	Coeff. di restituzione normale (Kn)	Coeff. di restituzione tangenziale (Kt)	Angolo di attrito ()
Substrato di conglomerato	0.50	0.85	36°
Affioramenti e roccia fratturata	0.40	0.85	36°
Detrito	0.34-0.44	0.82	32°

Ai fini del dimensionamento degli interventi sono poi state eseguite prove dirette di tiro e sfilamento di barre e trefoli ancorate nella roccia conglomeratica in condizioni di installazione analoghe a quelle reali. Per tale scopo è stata predisposta un'apposita attrezzatura di tensionamento portatile, per l'uso in parete, costituita da un martinetto anulare oleodinamico bidirezionale attuato da una centralina elettroidraulica, nel contempo capace di discrete prestazioni (600 kN di tiro per 15 cm di elongazione).

In tal modo su tratti brevi di ancoraggio (1-3 m) sono state determinate le resistenze di interfaccia avendo raggiunto un livello di tiro capace di produrre lo sfilamento del cavo ancorato.

Sulle lunghezze maggiori delle barre (5 m, come da progetto) sono state effettuate le verifiche di collaudo con valori di tiro corrispondenti a quelli di esercizio.

Alla luce della positiva esperienza, gli autori consigliano un approccio sperimentale per problematiche di dimensionamento degli ancoraggi, in quanto il continuo ricorso alle sole tabelle di bibliografia non è più giustificabile data l'importanza crescente di un controllo specifico sulle realizzazioni.



Fig. 3. Particolare di prova di sfilamento su cavi di controventatura (a sinistra) e di prova di tiro su barre di ancoraggio in parete al si sotto dello sperone del "naso" (a destra).

Details of pull out test accried out on the anchors in debris (left) and in the conglonertic rock mass (right).

2. INTERVENTI DI BONIFICA E MONITORAGGI

Gli interventi di bonifica sono stati realizzati ed ultimati nel 2004, con la sistemazione delle cenge detritiche, attraverso la posa di geostuoie e reti armate in aderenza, l'intecettazione delle acque superficiali in caduta dalle pendici sovrastanti, il disgiungimento di elementi rocciosi palesemente staccati dalla massa conglomeratica e, infine, chiodatura dello sperone del naso.

L'intervento di stabilizzazione del volume roccioso del "naso" è stato attuato con la sua imbragatura mediante funi ad anima metallica del diametro nominale di 24 mm, ancorate alla testa di 10 barre di acciaio (= mm) cementate nella roccia conglomeratica, ai due lati del "naso", per una profondità di 5 m. Le funi, inoltre, rendono aderente al volume roccioso una rete metallica che lo ricopre interamente per evitare il distacco di piccoli elementi lapidei.

Nella fase di progetto è stata pure presa in considerazione la possibilità di eliminare totalmente il volume roccioso critico mediante l'asportazione progressiva con tagli operati con filo diamantato. Tale soluzione, che sarebbe stata preferibile sia dal punto di vista economico sia

perchè definitiva, è stata però scartata per i maggiori rischi connessi alla possibile caduta di volumi rocciosi sulla sede stradale, ciò che avrebbe richiesto la chiusura al traffico per una durata inaccettabile.

Al fine di disporre di un controllo degli elementi rocciosi di particolare rilevanza per la stabilità e la sicurezza si è provveduto a:

- monitoraggio dei movimenti delle fratture attraverso dei fessurimetri, ossia dispositivi in grado di rilevare movimenti differenziali delle masse divise dalla frattura.
- monitoraggio dell'imbragatura dello sperone "naso", eseguita con funi di acciaio ancorate a bulloni cementati lungo foro.

Riguardo al monitoraggio con fessurimetri i problemi che sorgono sono essenzialmente:

1. la possibilità di un controllo che prescindendo dalle condizioni ambientali;
2. il posizionamento degli strumenti e della centralina di raccolta dati;
3. la scelta degli strumenti, che devono poter valutare lo spostamento relativo fra capisaldi posti a distanze pluridecimetriche e che devono rilevare potenziali spostamenti fino ad alcuni centimetri con una sensibilità del decimo di mm.

Il primo problema è risolvibile prevedendo l'installazione di uno strumento che non abbia funzioni di misura in senso stretto, ma che sia applicato in una zona di roccia salda nelle vicinanze degli strumenti deputati alla misura degli spostamenti: i valori forniti da tale strumento ("dummy") consentono la taratura continua e la correzione degli errori dovuti a fattori ambientali, essenzialmente la variazione di temperatura.

Per quanto riguarda il secondo problema, si ritiene che la centralina di raccolta dati debba essere posizionata in una zona facilmente accessibile, per una più agevole lettura dei valori misurati. Tale indicazione esclude la possibilità di una centralina in prossimità degli strumenti (a meno di ricorrere a trasmissioni via radio), dunque nasce l'esigenza di collegamenti con cavi di notevole lunghezza. Questa necessità indirizza la scelta degli strumenti verso la tipologia con trasduttori a corda vibrante, il cui segnale di uscita è la frequenza di un segnale elettrico, che, a differenza della lettura di tensione elettrica necessaria per gli strumenti potenziometrici, non è influenzata dalla lunghezza del cavo di collegamento.

L'ultimo aspetto, definito dalle condizioni geometriche delle fratture da monitorare, determina l'utilizzo di fessurimetri di lunghezza dell'ordine dei 500 mm e una corsa dell'ordine di 100 mm.

Passando ad esaminare l'aspetto dell'imbragatura dello sperone "naso", gli aspetti salienti sono essenzialmente due, oltre quello di apertura delle fessure:

- a) il controllo della tensione nel cavo;

b) il controllo della forza di trazione effettiva nei bulloni di ancoraggio;

Per il controllo della tensione nel cavo di sostegno si è previsto l'utilizzo di una cella di carico da inserire in serie al cavo stesso, così come per il controllo della forza di trazione nei bulloni di ancoraggio (prevista comunque dalle usuali procedure di collaudo).

La strumentazione impiegata è stata quindi basata su fessurimetri e celle di carico a corda vibrante, con cablaggi schermati e connessi a centralina di acquisizione in parete con trasmissione remota del segnale via modem GSM e alimentazione con pannello solare.

3. Conclusioni

Lo studio illustrato, di cui sono stati qui trattati solo gli aspetti pertinenti alle indagini ed al monitoraggio, permette di evidenziare il particolare approfondimento nella valutazione di condizioni in cui la sicurezza deve raggiungere livelli molto elevati; ciò impone quindi, sia in fase progettuale, sia in fase realizzativa e, infine, in fase di esercizio la definizione caso per caso delle peculiarità del progetto. A tale scopo si è ritenuto fondamentale disporre di una accurata ricostruzione topografica e geostrutturale del versante (rilievi aerei, da terra e indagini geofisiche) nonché di una determinazione sperimentale della resistenza degli ancoraggi in quanto elementi base degli interventi di bonifica (prove sui materiali litoidi, prove di sfilamento in detrito, prove di tiro in roccia). Infine il monitoraggio ha consentito un ulteriore controllo di eventuali evoluzioni anomale su elementi rocciosi la cui dimensione non è sempre compatibile con il ricorso a demolizioni senza la compromissione di ampi settori del versante e lunghe interruzioni del traffico stradale.

Ringraziamenti: Gli autori ringraziano la Soc. Autostrada dei Fiori SpA per la disponibilità alla diffusione del caso qui riportato; inoltre desiderano sottolineare l'apporto dei colleghi A.Godio e P.Oreste nelle fasi preliminari dello studio, nonché il Geol.M.Enotarpi e l'Ing.M.Casale nella fase di progettazione degli interventi.

Bibliografia

Del Greco O., Godio A., Oggeri C., Oreste P., Enotarpi M. (2002)

Investigation into the reinforcement design for a rock slope located above highway tunnel portals in Italy. Proc. 1st European Conf. On Landslides, Prague, 24-26 June.