

Monitoring and management of a huge landslide in a built-up area induced by the excavation of deep highway tunnels

Monitoraggio e gestione di una grande frana in area urbanizzata indotta dallo scavo di gallerie autostradali profonde

Guido Gottardi¹; Giuseppe Ricceri²; Alberto Selleri³; Paolo Simonini⁴; Daniela Salucci²; Paola Torsello²

ABSTRACT

In 2011 a huge quiescent landslide was suddenly reactivated by the excavation of two deep parallel tunnels belonging to the new highway, now completed, connecting Bologna to Firenze. This involved potentially hazardous situations for the inhabitants of a village lying on top of the landslide, inducing increasing anxiety in the population, who repeatedly asked for stopping the excavation and looking for new possible highway paths. Such circumstances induced the Regional Authorities and the Contractor to install a comprehensive displacement real-time monitoring system along the slope. In addition, the structural conditions of each building in the area were carefully checked, establishing suitable thresholds on structural movements in order to decide about their possible evacuation. At the same time, a group of experts was especially appointed to manage the evolving situation. The installed instruments allowed for a careful and constant control of the displacement rates of soil and structures and of their evolution with time, enabling the construction of both tunnels to proceed, even at reduced excavation rate, until their successful completion.

RIASSUNTO

Nel 2011 una grande frana quiescente fu improvvisamente riattivata dallo scavo di due gallerie profonde e parallele, facenti parte del nuovo tratto autostradale – ora completato – tra Bologna e Firenze, noto come Variante di Valico. Ciò implicò situazioni di potenziale pericolo e di preoccupazione per gli abitanti del paese soprastante, che chiesero ripetutamente la sospensione delle operazioni di scavo e l'individuazione di un tracciato alternativo. Tali circostanze indussero quindi gli enti competenti e le autorità regionali a richiedere all'impresa appaltatrice la progettazione e l'installazione di un articolato sistema di monitoraggio in tempo reale degli spostamenti del versante. L'assetto strutturale di ogni edificio è stato altresì tenuto sotto stretta osservazione, individuando delle soglie di riferimento sui

1 University of Bologna, ITALY, guido.gottardi2@unibo.it

2 Osservatorio Ambientale

3 Autostrade per l'Italia

4 University of Padova

relativi movimenti al raggiungimento delle quali procedere con la delocalizzazione degli abitanti. L'attento e costante controllo delle velocità di spostamento e della loro evoluzione nel tempo ha così consentito alle operazioni di scavo di procedere in sicurezza, anche a ritmi ridotti, fino al completamento dell'opera.

KEYWORDS

landslide; monitoring; emergency plan

INTRODUZIONE

Nel 2002 la Società Autostrade per l'Italia avvia i lavori di realizzazione della variante all'autostrada A1 tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello, la cosiddetta Variante di Valico (VAV), il cui tracciato si compone di 23 viadotti e 22 gallerie, per uno sviluppo totale di circa 58 km (Autostrade per l'Italia, 2006). La Variante attraversa per 43 km l'Emilia-Romagna e per 15 km la Toscana (Figura 1).

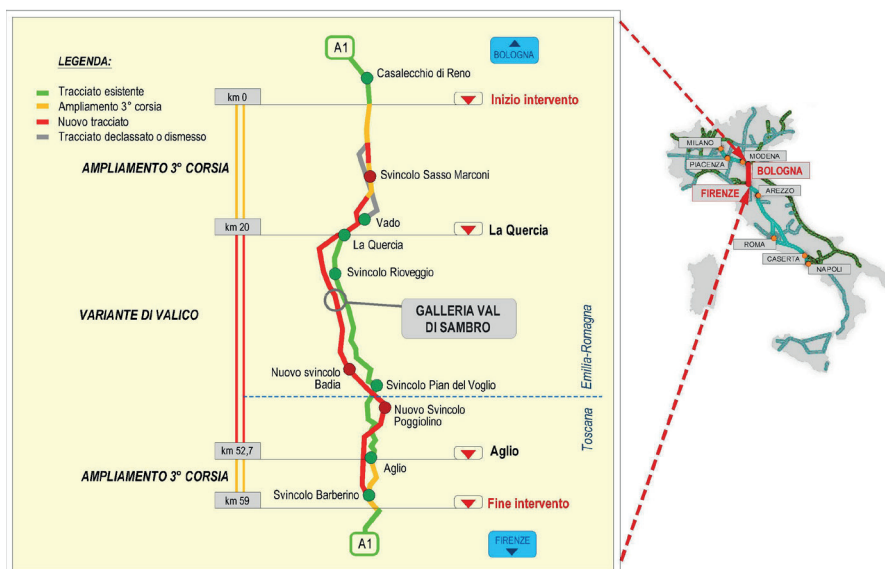


Figura 1. Ubicazione del progetto della Variante di Valico e della Galleria Val di Sambro.

Contestualmente all'inizio dei lavori veniva istituito, tramite un accordo ufficiale sottoscritto dal Ministero dell'Ambiente e dagli Enti locali, un Osservatorio Ambientale (OA) col compito di controllare l'operatività e l'efficacia del Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) attivato da Autostrade e di verificare l'impatto prodotto dai cantieri sul contesto ambientale e socio-economico.

La VAV si inserisce infatti all'interno di un territorio antropizzato, vario ed articolato, carat-

terizzato dalla presenza dei massicci montuosi dell'Appennino tosco-emiliano, separati in genere da valli strette e solcate da corsi d'acqua a carattere torrentizio. Tale contesto geomorfologico è contraddistinto dalla presenza di innumerevoli frane, alcune delle quali di tipo complesso e di notevoli dimensioni (Bertolini et al., 2001). A presidio di questo scenario il PMA prevedeva dunque il monitoraggio di 10 componenti distribuite tra i settori antropico, idrico, geotecnico e naturale, con campagne di misura in continuo ovvero a frequenza variabile, a seconda della matrice monitorata. Dal punto di vista specifico dell'assetto del territorio, il PMA ha distinto i siti degni di attenzione in: "aree sensibili", interessate da fenomeni franosi attivi, inattivi o quiescenti, e "opere sensibili", ossia gli imbocchi delle gallerie naturali, gli scavi sui versanti o in adiacenza a strutture e/o infrastrutture (Barla et al., 2006).

Il presente contributo si propone di presentare, sebbene a grandi linee, il complesso piano di emergenza messo a punto in occasione della riattivazione di un movimento di versante profondo indotto dalla realizzazione delle due canne affiancate denominate "galleria Val di Sambro", che ha interessato le frazioni soprastanti di Santa Maria Maddalena e di Serrucce, in Comune di San Benedetto Val di Sambro (BO). Tale piano di emergenza ha preso l'avvio dall'installazione di un esteso sistema di monitoraggio topografico e geotecnico - costituito da strumentazione profonda, quali piezometri ed inclinometri - e dalla definizione di predefiniti valori di soglia in corrispondenza dei quali attivare una specifica procedura mediante l'azione congiunta di un appositamente costituito Collegio dei Tecnici, Amministratori locali e Autorità preposte.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL SITO E CARATTERISTICHE DELL'OPERA

La galleria Val di Sambro si sviluppa per 3.8 km circa con due corsie di marcia ed una corsia di emergenza. Lo scavo, avviato nel 2007 e terminato nel novembre 2014, è stato eseguito con metodo tradizionale. Il tracciato interessa in profondità il versante su cui poggiano i villaggi di Santa Maria Maddalena e di Serrucce (Figura 2), con coperture medie dell'ordine di 100 m. L'area di Santa Maria Maddalena è caratterizzata da unità geologiche costituite da depositi di frana perlopiù quiescenti e dal substrato roccioso costituito dalla formazione del flysch di Monghidoro. Dai rilevamenti geologici e dai sondaggi geomeccanici eseguiti in fase progettuale, l'asse della galleria attraversa un substrato costituito da torbiditi arenaceo-pelitiche in strati da sottili a molto spessi, che nell'area in esame sono prevalentemente arenacee, con granulometrie da medie o fini passanti localmente a grossolane, di colore grigio chiaro o bruno, passanti a peliti, spesso siltose, di colore grigio scuro (Autostrade per l'Italia, 2007).

Le Figure 3a e 3b mostrano le sezioni geologiche denominate A-A e B-B, con la posizione delle due canne della galleria.

Nello stesso tratto le coperture superficiali sono definite, in base alla loro dinamica geomorfologica, come corpo di frana attiva sovrapposto a un corpo di frana quiescente, precedute da una zona intensamente tettonizzata.

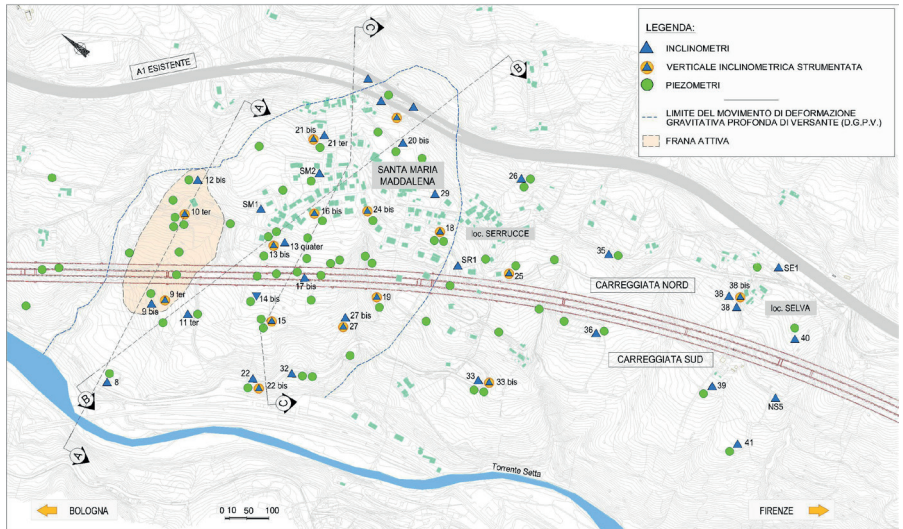


Figura 2. Planimetria dell'area oggetto di monitoraggio.

IMPLEMENTAZIONE DEL PMA

Per la galleria Val di Sambro, il Piano di Monitoraggio Ambientale (PMA) prevedeva, all'inizio dei lavori di scavo, l'attivazione di strumentazione geotecnica prevalentemente a controllo dell'imbocco meridionale, dove la galleria attraversa una zona in frana. Per la restante parte dello scavo, il progetto indicava che la galleria fosse sufficientemente profonda da sottopassare i movimenti franosi quiescenti presenti lungo il tracciato.

Con l'avanzare dello scavo da nord si evidenziarono però i primi significativi dissesti in alcuni edifici isolati che sorgevano nella zona denominata come 'frana attiva' in Figura 2. A seguito di questi primi movimenti di versante veniva redatto un piano di monitoraggio geotecnico specifico per l'abitato di Santa Maria Maddalena, anche in vista dell'approssimarsi al paese dello scavo della galleria.

In particolare, la strumentazione prevista a più riprese per tale monitoraggio integrativo del versante comprendeva complessivamente:

- n. 31 verticali inclinometriche con lettura manuale, spinte fino a 120 m di profondità;
- n. 11 verticali inclinometriche strumentate con catene inclinometriche, profonde fino a 70 m;
- n. 3 verticali multiparametriche tipo "DMS", profonde 100 m;
- n. 22 piezometri tipo Casagrande più profondi e numerosi piezometri a tubo aperto più superficiali;
- n. 397 miniprismi installati su edifici e viadotto autostradale esistente e n. 255 pilastri sul terreno, per un totale di 652 mire ottiche installate;
- n. 15 stazioni GPS.

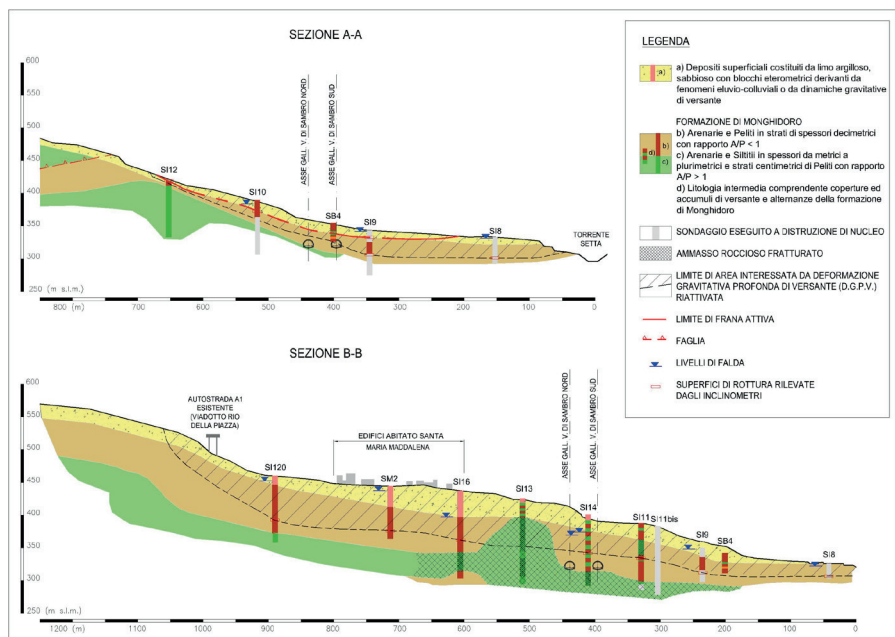


Figura 3. Sezioni geologiche trasversali: a) A-A; e b) B-B; in prossimità di Santa Maria Maddalena.

L'ubicazione degli strumenti per il monitoraggio geotecnico è riportato in Figura 2. Le misure, interpretate in termini di velocità di spostamento medie mensili, venivano costantemente raffrontate con predefiniti valori di soglia. Il controllo dei superamenti di soglia previsti ai fini di monitoraggio ambientale veniva attuato, sia per le misure sui fabbricati che per le verticali inclinometriche e le misure topografiche, mediante un sistema di monitoraggio automatico in tempo reale. Il raggiungimento od il superamento di tali valori di soglia comportava l'incremento della frequenza anche delle letture in manuale, fino ad una o più misure alla settimana, e la convocazione di incontri tecnici aventi il compito di definire eventuali azioni da intraprendere, quali la modifica delle modalità di avanzamento degli scavi in galleria o interventi integrativi a partire dalla superficie del versante.

Nel luglio 2011 il fronte di scavo del tunnel nord della galleria Val di Sambro entrava nell'area di influenza della frazione di Santa Maria Maddalena, in una zona classificata come "frana in blocco" nella cartografia geologica regionale, caratterizzata da elementi analoghi alle deformazioni gravitative profonde di versante. L'originario modello geologico di progetto, revisionato sulla base dei primi risultati del monitoraggio, individuava la presenza di una paleofrana riattivata dal passaggio dei fronti di scavo della galleria (Autostrade per l'Italia, 2011). Ne conseguiva una stima degli spostamenti attesi inevitabilmente superiori rispetto

a quelli inizialmente previsti. Il movimento risultava comunque caratterizzato da velocità di spostamento relativamente modeste, che non facevano presupporre possibili fasi parossistiche.

Con l'avvicinarsi del fronte di scavo al villaggio di Santa Maria Maddalena, le misure convergevano nel segnalare un movimento, coinvolgente più di 10 milioni di m³ di terreno, situato perlopiù a grandi profondità (intorno ai 50-60 m ed oltre), dai contorni geometrici non ancora completamente definiti ed in progressiva evoluzione, caratterizzato da persistenti velocità di spostamento intorno a pochi mm/mese, in parte chiaramente influenzate dalle operazioni di scavo in corso. In Figura 4, che mostra una sezione trasversale al tracciato, è possibile osservare la forma della superficie di scivolamento, i cui limiti (indicati in figura con linea tratteggiata) sono ben individuati dalle verticali dove sono stati installati gli inclinometri. Le misure inclinometriche definivano superfici di scivolamento caratterizzate da localizzazioni piuttosto nette su bande di taglio sottili, sulle quali la resistenza mobilitata – valutata tramite verifiche di stabilità a ritroso – appariva in linea con quanto emerso dalla determinazione sperimentale della resistenza al taglio di tipo residuo.

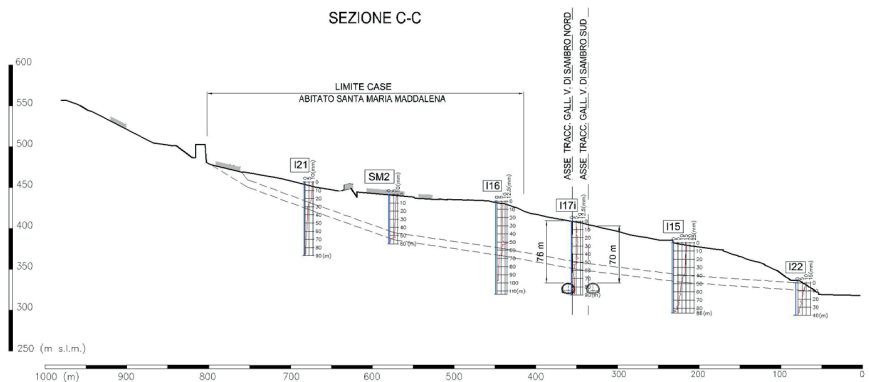


Figure 4. Sezione C-C (cfr. figura 2) con l'indicazione della strumentazione installata.

PIANO DI EMERGENZA COMUNALE

Considerate le possibili conseguenze sulla sicurezza degli abitanti di Santa Maria Maddalena, la prosecuzione dei lavori venne subordinata all'integrazione del sistema di monitoraggio con uno specifico piano di emergenza.

Nell'agosto 2012 tale piano veniva formalizzato nel "Piano di emergenza comunale per l'abitato di Santa Maria Maddalena" redatto sulla base di specifiche soglie di attenzione, preallarme e allarme definite in relazione agli esiti del monitoraggio degli edifici e del relativo versante. I valori di soglia individuati ai fini del piano di emergenza sono riportati in Tabella 1: per gli edifici, le soglie riguardano i gradienti di spostamento verticale ed orizzontale (espressi in millesimi) e sono state ricavate dalla letteratura tecnica con intenti particolarmente

Tabella 1. Valori soglia di spostamento per gli edifici e delle velocità per il movimento di versante.

Soglie relative al gradiente degli spostamenti per gli edifici		
Tipo di soglia	gradiente di spostamento verticale differenziale	gradiente di spostamento orizzontale differenziale
Attenzione	1.00	0.45
Preallarme	1.50	0.70
Allarme	3.35	1.50

Soglie di velocità profonda e superficiale per il movimento di versante		
Tipo di soglia	Profonda	Superficiale
	velocità di spostamento cm/giorno	velocità di spostamento cm/giorno
Attenzione	0.50	1.00
Preallarme	1.20	2.00
Allarme	3.00	4.00

cautelativi in base alla classe di danno associata, mentre per il movimento franoso le soglie riguardano le velocità di spostamento sia a piano campagna che in profondità, nelle zone dove è localizzata la superficie di scivolamento della frana. Quest'ultime sono state definite in base alla natura dei terreni interessati e sulla scorta delle evidenze registrate in casi analoghi; i loro valori tengono evidentemente conto delle azioni conseguenti e differiscono sostanzialmente dalle soglie utilizzate ai fini di monitoraggio ambientale.

Lo scopo del Piano di Emergenza Comunale era quello di definire le disposizioni organizzative per la preparazione e la gestione di eventuali situazioni di emergenza riferite al versante da parte di tutti gli enti e le strutture tecniche coinvolte.

Il Piano Comunale di Emergenza individua per ciascun soggetto coinvolto le azioni da intraprendere a seconda dei tre scenari possibili: di attenzione, di preallarme o di allarme.

Lo scenario di rischio più probabile considera la possibilità di un'evacuazione controllata e pianificata di poche o singole unità. Il numero totale degli edifici oggetto di monitoraggio è pari a 125, che ospitano 160 nuclei familiari e 339 persone abitualmente presenti.

La procedura prevista in caso di superamento delle soglie di "allarme" è stata sintetizzata e schematizzata in Figura 6, nella quale sono state introdotte solamente le azioni ritenute più significative. In caso di superamento delle soglie di "allarme" per il versante (verifica a cura della Direzione Lavori) o per gli edifici (verifica a cura dell'impresa esecutrice), il Sindaco rinvia al Collegio dei Tecnici la verifica dello stato del versante e dell'entità dei danni alle abitazioni. Il Collegio dei Tecnici informa il Sindaco e la Protezione Civile delle verifiche eseguite e, in caso di accertato pericolo per la popolazione, comunica la necessità di delocalizzare la popolazione stessa.

Al termine, completate le operazioni previste dalla procedura di "allarme", sarà il Servizio Geologico Regionale a proporre la cessazione dello stato di allarme al Sindaco, il quale ne darà informazione a tutti gli Enti interessati ed alla popolazione delle località interessate.

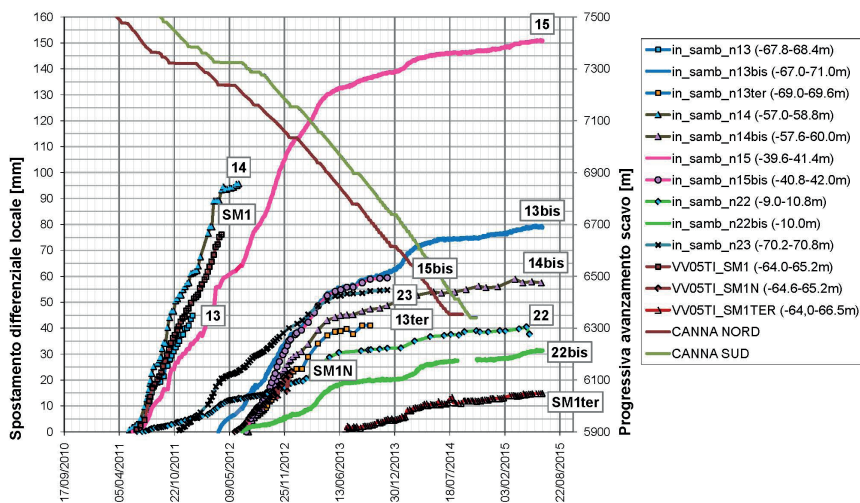


Figure 5. Spostamenti differenziali locali nella fascia di deformazione.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato presentato un caso di riattivazione di un movimento profondo di versante, innescatosi a seguito dello scavo per la realizzazione della galleria Val di Sambro, e la sua interazione con gli abitati soprastanti. La frana riattivata è caratterizzata da un movimento molto profondo, con superficie di scorrimento che si attesta anche oltre 50-60 m di profondità. Date le dimensioni del corpo di frana e l'elevato volume di terreno coinvolto, era pressoché impossibile ricorrere a interventi di stabilizzazione del versante che arrestassero completamente il fenomeno in atto. Pertanto, al fine di preservare l'integrità degli edifici e l'incolumità della popolazione degli abitati interessati, è stato implementato un complesso piano di emergenza, basato sulla misurazione in campo di parametri ritenuti significativi, sul confronto di tali misure con valori di soglia predefiniti ed infine sull'avvio di una procedura di emergenza a seconda del livello di pericolo riscontrato.

In prima fase si è quindi proceduto all'installazione di un accurato ed articolato sistema di monitoraggio geotecnico, costituito da strumentazione profonda per il controllo dell'evoluzione dei movimenti di versante, e topografico mediante strumentazione di precisione per il controllo dei danni strutturali agli edifici. In seconda fase si sono definiti i livelli di soglia, individuando due parametri significativi: la velocità di spostamento del versante, distinguendo tra movimento profondo e superficiale, ed il gradiente di spostamento differenziale, sia orizzontale che verticale, per gli edifici. Per entrambi i parametri sono stati definiti, ai fini della redazione del piano di emergenza, tre diversi valori soglia corrispondenti a tre livelli di pericolo denominati di attenzione, preallarme e allarme. In terza ed ultima fase è stato

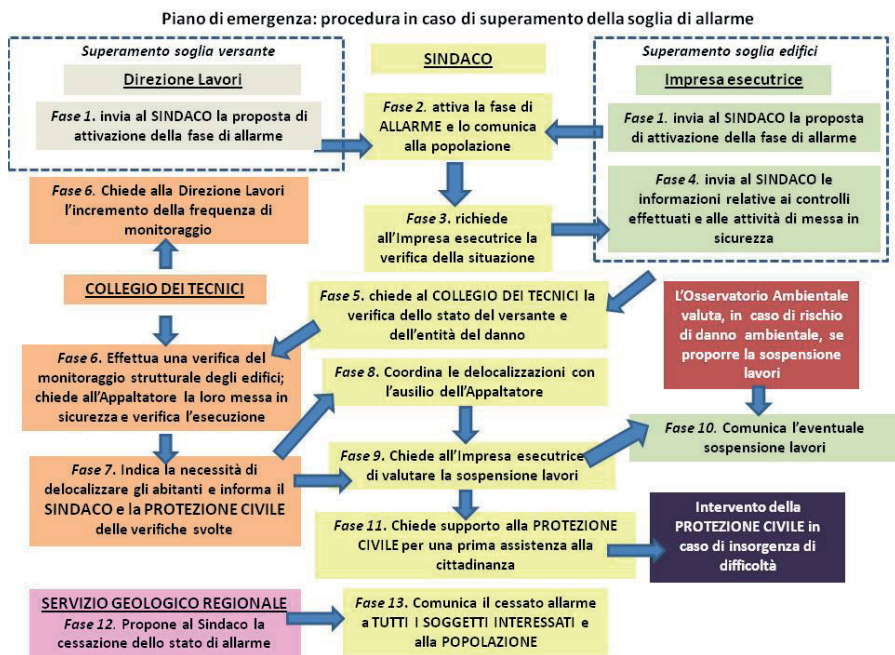


Figure 6. Piano di emergenza: procedura in caso di superamento della soglia di allarme.

implementato un Piano di Emergenza Comunale, diversificato in funzione del livello di pericolo registrato, con lo scopo di definire le disposizioni organizzative necessarie per la preparazione e la pianificazione di eventuali situazioni di emergenza, come ad esempio l'evacuazione dei nuclei abitativi e la loro ricezione in strutture di accoglienza già predisposte. L'acquisizione delle registrazioni in automatico, per 24 ore al giorno, ha consentito, e consente tuttora, una valutazione in tempo reale della situazione in atto e l'eventuale immediata attivazione del piano di emergenza programmato, a seconda del livello di emergenza riscontrabile. Nel corso dei lavori, tuttavia, non si sono mai verificate condizioni effettive di superamento delle soglie predefinite, fatta eccezione per segnalazioni isolate e sporadiche che, dopo attenta verifica, sono risultate prive di significato. Con l'abbattimento dell'ultimo diaframma della canna sud della galleria Val di Sambro avvenuto nel novembre 2014, lo scavo della galleria Val di Sambro risulta oggi interamente completato. Il passaggio dei fronti in corrispondenza dell'abitato di Santa Maria Maddalena ha determinato velocità medie di spostamento del versante fino a 8-10 mm/mese e oltre nel 2011-2012, poi ridotti fino a 1-2 mm/mese nel biennio 2013-2014. Attualmente, la fitta rete di monitoraggio attiva sul versante conferma, in generale, la tendenza al sostanziale rallentamento dei movimenti profondi.

BIBLIOGRAFIA

- Autostrade per l'Italia (2006). Variante di Valico, Newsletter (<https://www.autostrade.it/variante-di-valico/newsletter-variante-di-valico/index.html>).
- Autostrade per l'Italia (2007). Autostrada A1 Milano – Napoli. Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello. Tratto: La Quercia – Badia Nuova. Sub-tratta: Lagaro – Badia Nuova. Lotto 6-7, Progetto Esecutivo., Galleria Val di Sambro, Relazione Geomeccanica.
- Autostrade per l'Italia (2011). Autostrada A1 Milano – Napoli. Adeguamento del tratto di attraversamento appenninico tra Sasso Marconi e Barberino di Mugello. Tratto: La Quercia – Badia Nuova. Sub-tratta: Lagaro – Badia Nuova. Lotto 5B, Progetto Esecutivo, Galleria Val di Sambro, Perizia di variante tecnica 2.
- Barla G., Chiappone A., Vai L. (2006). Slope monitoring system. Instabilità di versante. Interazioni con le infrastrutture, i centri abitati e l'ambiente. XI Ciclo di Conferenze di Meccanica e Ingegneria delle Rocce (MIR 2006), Cap. 8: 177–202.
- Bertolini G., Pellegrini M. (2001). The landslides of the Emilia Apennines (northern Italy) with reference to those which resumed activity in 1994–1999 period and required Civil Protection interventions. Quad. Geol. Appl. 8: 27–74.