

Consolidamento di versanti instabili mediante opere di contenimento strutturale e tecniche di drenaggio profondo: gli esempi di Acquabona, Cervarezza, Magliatica e Ca' Lita (Appennino reggiano)

Gaetano Sartini*, Giuseppe Caputo*, Nicola De Simone*, Giovanni Truffelli*, Lisa Borgatti**, Federico Cervi**, Alessandro Corsini**, Francesco Ronchetti**

*Regione Emilia-Romagna, Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia, Sede di Reggio Emilia, Via Emilia S. Stefano, 25 42100 Reggio Emilia, E-mail: GSartini@regione.emilia-romagna.it; GCaputo@regione.emilia-romagna.it; NDesimone@regione.emilia-romagna.it; GTruffelli@regione.emilia-romagna.it

**Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Modena e Reggio Emilia, Largo S. Eufemia, 19 41100 Modena, E-mail: lisa.borgatti@unimore.it; alessandro.corsini@unimore.it; federico.cervi@unimore.it; francesco.ronchetti@unimore.it

Consolidation of unstable slopes by means of structural containment works and deep drainage techniques: the examples of Acquabona, Cervarezza, Magliatica and Ca' Lita (Northern Apennines, Italy)

ABSTRACT: The consolidation works carried out by the Technical Service of Enza, Panaro and Secchia basins of Reggio Emilia (STB-RE) on four large landslides, located in the Northern Apennines, Italy, are described. These interventions have been focused on the use of specialised drainage and containment measures such as modular shields of draining wells and inspectionable draining wells (Ø 1500 mm), large-diameter wells and large-diameter pile (Ø 60 mm) retaining walls with tie rods. The interventions carried out have allowed slopes to be consolidated and critical hydro-meteorological events to be managed after the implementation of works.

Key terms: Landslides, Consolidation works, Northern Apennines

Termini chiave: Frane, Consolidamento, Appennino reggiano

Riassunto

La nota descrive gli interventi di consolidamento eseguiti dal Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia, sede di Reggio Emilia (STB RE), in quattro grandi frane situate nell'Appennino reggiano. Tali interventi si centrano sull'utilizzo di opere drenanti e di sostegno di tipo specialistico quali schermi modulari di pozzi drenanti e drenanti ispezionabili (Ø 1500 mm), pozzi di grande diametro, paratie di pali di grande diametro (Ø 60 mm) opportunamente tirantate. Gli interventi realizzati hanno permesso il consolidamento dei versanti ed il superamento di eventi idro-meteorologici critici successivi alla loro realizzazione.

Introduzione

L'Appennino Settentrionale è caratterizzato da un grande numero di frane quiescenti ed attive. Ciò è dovuto alla relativamente recente strutturazione della catena montuosa, ed alla grande diffusione in essa di rocce deboli, quali complessi argillosi e flysch, oltre che di estese coltri detritiche. È stato valutato, in particolare, che nella sola Provincia di Reggio Emilia si trovino oltre 4000 corpi di frana caratterizzati da diverso grado di attività che, uniti alle

forme calanchive ampiamente diffuse nella media e bassa montagna, portano a stimare in oltre il 30% del totale il territorio montano interessato da dissesti (Garberi *et al.*, 1999). Questo dato, peraltro simile a quello delle altre province emiliane, colloca l'Appennino reggiano tra le aree montuose più dissestate d'Italia. Alcuni fenomeni franosi assumono particolare rilievo per dimensioni, complessità e rischio indotto a centri abitati ed altre infrastrutture. Ne sono testimonianza i tre centri abitati dichiarati da consolidare e/o da trasferire ai sensi della L. 445/1908 (inclusi due capoluoghi comunali) e le diverse aree perimetrate come a grande rischio da frana ai sensi della L. 267/98.

La presente nota illustra gli interventi di consolidamento realizzati in quattro grandi frane che, nel recente passato, si sono riattivate causando emergenze di protezione civile. Esse sono rappresentative di gran parte dei fenomeni che affliggono il territorio montano della provincia di Reggio Emilia. Due sono localizzate nell'alto Appennino, a quote prossime ai 1000 m s.l.m. (frana di Acquabona in comune di Collagna e frana di Cervarezza in comune di Busana), ed altre due nel medio-basso Appennino, a quote di circa 500-700 m (frana di Magliatica e frana di Ca' Lita, ricadenti tra i comuni di Carpineti e Baiso) (Fig. 1).

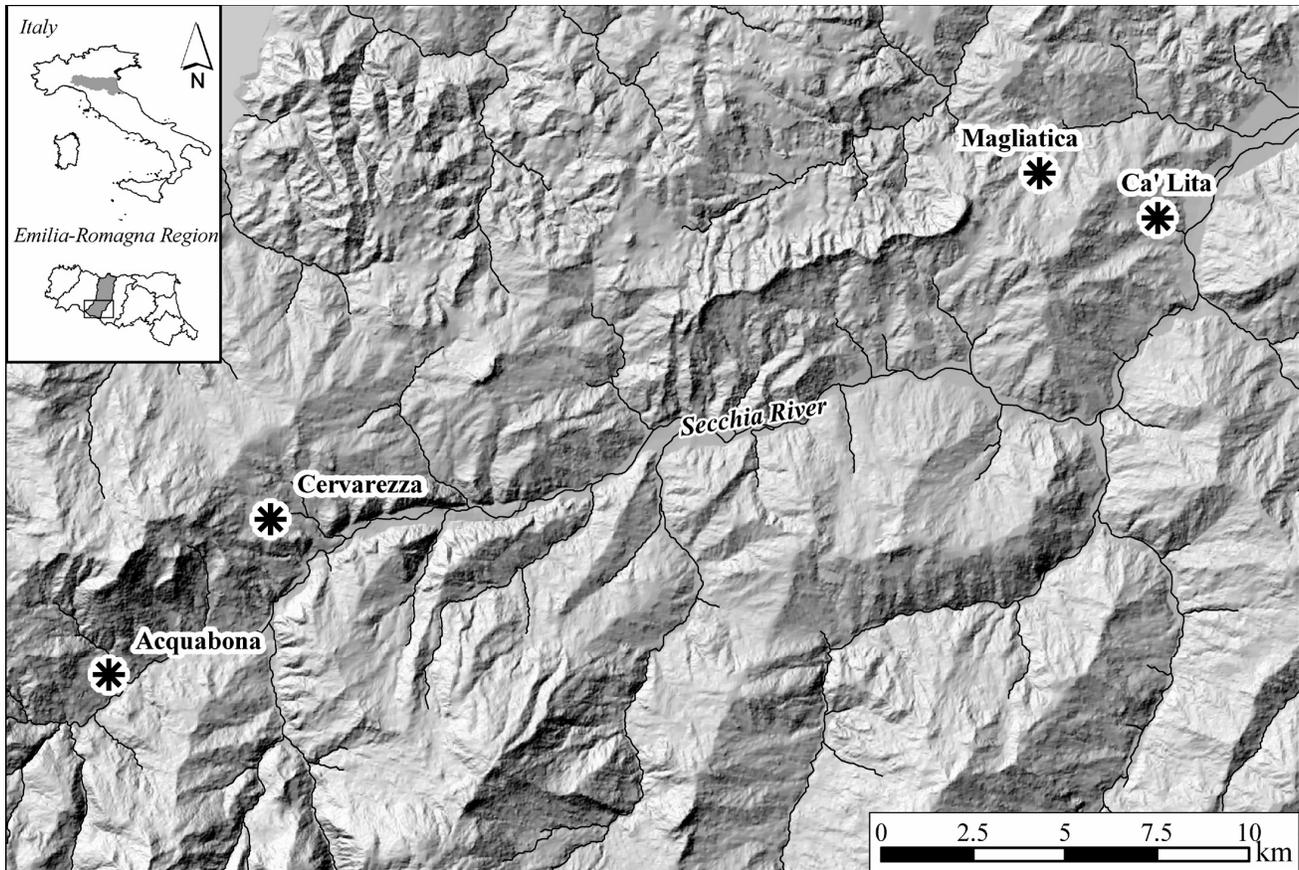


Fig. 1 – Localizzazione delle frane studiate
 Fig. 1 – Location of the studied landslides

La maggior parte degli interventi realizzati su tali frane si inquadra nell'ambito dei lavori di mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico conseguenti agli eventi idro-meteorologici che colpirono il bacino del Po nel novembre 2000 e nel novembre 2002 (OO.MM. 3090/2000 e 3258/2002) e del più localizzato evento idro-meteorologico che interessò la provincia di Reggio Emilia nel mese di febbraio 2004 (O.P.C.M. 3357/2004). Nel complesso, gli stanziamenti collegati a quest'ultima ordinanza hanno permesso la realizzazione di nove interventi, per un totale di circa 6,5 milioni di euro.

Inquadramento geologico

Le frane di Acquabona, Cervarezza, Magliatica e Ca' Lita si sviluppano in condizioni geologiche caratterizzate dalla sovrapposizione tra ammassi rocciosi flyschoidi fratturati e complessi argillosi caotici. Tale sovrapposizione è caratteristica comune alla maggior parte dei grandi dissesti presenti nell'Appennino Settentrionale (Bettelli & De Nardo, 2001). In particolare, il coronamento si colloca in prossimità di affioramenti di unità ascrivibili a formazioni flyschoidi appartenenti al Dominio Subligure (Cervarezza) ed al Dominio Ligure (Magliatica e Ca' Lita), costituite da strati torbiditici calcareo-marnosi alternati ad argille siltose.

Leggermente diversa è la situazione geologica nella frana di Acquabona, dove il coronamento non si imposta in complessi flyschoidi, ma in ammassi rocciosi costituiti da gessi e calcari cariati della successione evaporitica triassica. Questi ammassi rocciosi deboli, ricadenti nelle classi B e C che descrivono la litologia e l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi eterogenei (Marinos & Hoek, 2001) nell'ambito della classificazione tramite il Geological Strength Index (GSI di Hoek & Brown, 1997), risultano sensibilmente più permeabili dei sottostanti complessi argillosi, corrispondenti a corpi caotici a dominante pelitica appartenenti al Dominio Ligure. Queste ultime unità costituiscono il substrato del settore medio-inferiore delle frane (Fig. 2) e possono essere riferite alle classi G ed H di Marinos & Hoek (2001).

In prossimità od in corrispondenza delle frane oggetto di intervento, sono presenti sovrascorrimenti e faglie di importanza regionale, che complicano i rapporti geometrici tra le suddette formazioni e determinano in esse condizioni di diffusa fratturazione.

Caratteristiche delle frane

La sovrapposizione tra ammassi rocciosi deboli ed eterogenei quali flysch o gessi e calcari cariati, che risultano

permeabili principalmente per fratturazione, ed ammassi rocciosi a predominante componente argillosa, sensibilmente meno permeabili delle rocce sovrastanti, determina una condizione idrogeologica che predispone allo sviluppo di scivolamenti roto-traslativi multipli in rocce deboli nella zona di coronamento, e di scivolamenti e colate di terra lungo il corpo e fino al piede delle frane (Fig. 2). Lo

stile di attività delle frane oggetto di intervento è pertanto classificabile come complesso e composito (Cruden & Varnes, 1996). Nel caso di Cervarezza, a monte del corpo di frana del tipo suddetto, si rinviene un esteso fenomeno di scivolamento profondo di roccia, che ha portato alla deposizione di circa 80 m di detrito arenaceo grossolano nei pressi dell'abitato.

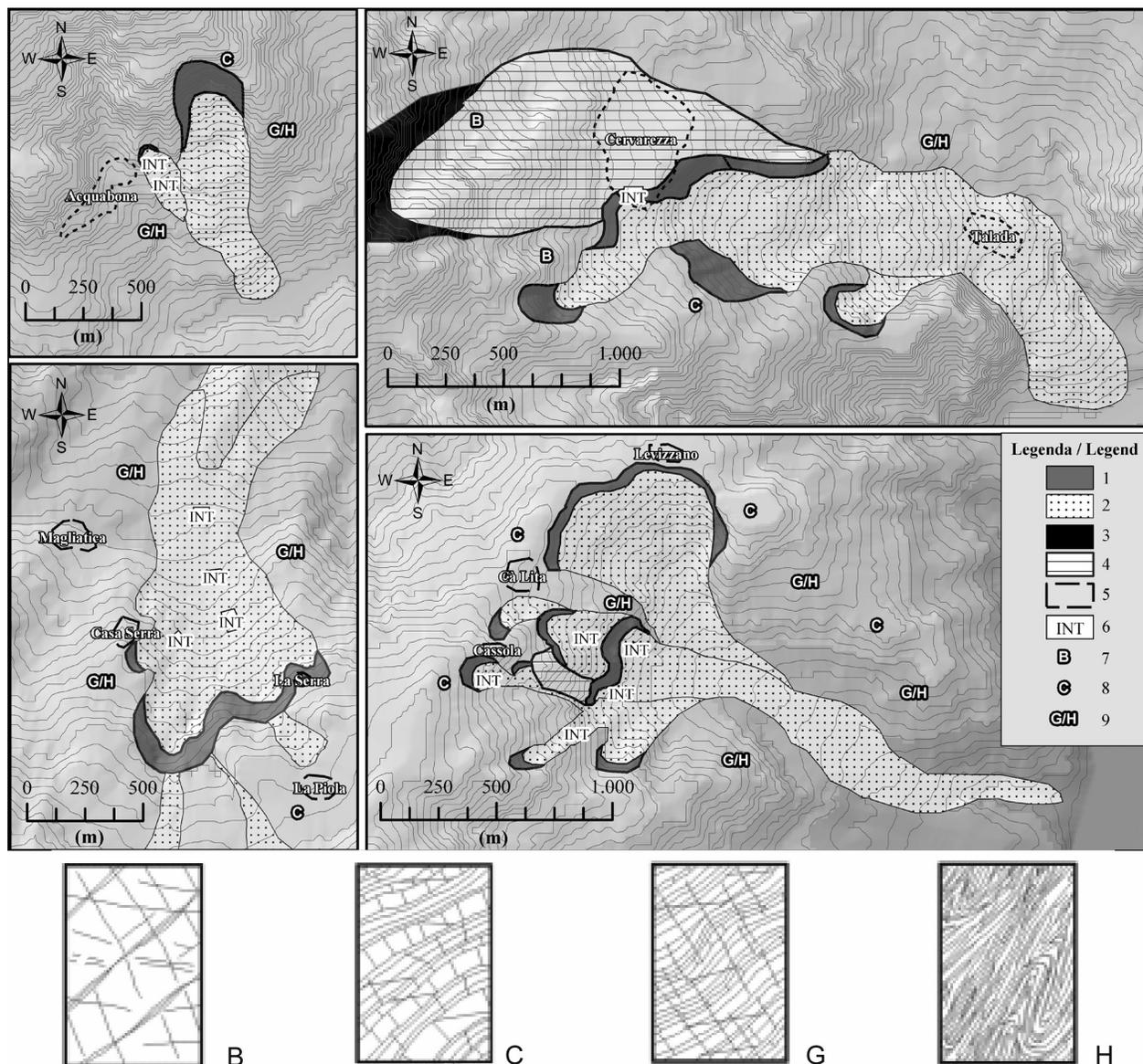


Fig. 2 – Carte schematiche delle frane oggetto di intervento. Legenda: 1) nicchia di frana per scivolamento-colata; 2) corpo di frana per scivolamento-colata; 3) nicchia di frana per scivolamento profondo in roccia; 4) corpo di frana per scivolamento profondo in roccia; 5) perimetro dei centri abitati; 6) localizzazione degli interventi di mitigazione; 7) ammassi rocciosi flyschoidi poco deformati con sottili interstrati pelitici (B in Marinós & Hoek, 2001); 8) ammassi rocciosi flyschoidi con rapporto A/P circa uguale a 1 (C in Marinós & Hoek, 2001); 9) complessi argillosi da poco a molto deformati (G & H in Marinós e Hoek, 2001)

Fig. 2 – Schematic maps of the studied landslides. Legend: 1) crown of earth slide–earth flow; 2) earth slide–earth flow main body; 3) crown of deep-seated rock slide; 4) main body of deep-seated rock slide; 5) perimeter of inhabited centres; 6) location of mitigation interventions; 7) sandstone with thin layers of siltstone (B in Marinós & Hoek, 2001); 8) sandstone and siltstone in similar amounts (C in Marinós & Hoek, 2001); 9) silty or clayey shale with thin sandstone layers from undisturbed to tectonically deformed (G and H in Marinós & Hoek, 2001)

Per quanto riguarda lo stato di attività, si tratta di frane di origine preistorica che, pertanto, sono attualmente da considerarsi quiescenti nel complesso, mentre a settori sono riattivate e/o sospese.

Per quanto riguarda la morfologia, i corpi di frana presentano (Fig. 3):

- un marcato coronamento sovrastante ampie zone di

alimentazione, dove le pendenze sono quasi ovunque $>20^\circ$ e si hanno fenomeni di scivolamento roto-traslattivo in roccia;

- un canale mediano relativamente più stretto e corrispondente alla zona di sviluppo degli scivolamenti colate di terra;

- un'ampia zona di accumulo basale, costituente un piede che assume pendenze modeste, talora $<10^\circ$.



Fig. 3 – Fotografie panoramiche delle frane studiate
 Fig. 3 – Panoramic pictures of the studied landslides

Tab. 1 – Caratteristiche morfometriche delle frane
 Tab. 1 – *Landslide morphometric features*

Frana / Landslide	Acquabona	Cervarezza	Magliatica	Ca' Lita
Latitudine. <i>Latitude</i>	44° 21' 20'' N	44° 23' 20'' N	44° 27' 21'' N	44° 27' 40'' N
Longitudine. <i>Longitude</i>	10° 18' 00'' E	10° 19' 51'' E	10° 35' 53'' E	10° 37' 20'' E
Pendenza media (°). <i>Average slope angle</i>	15	12	7	8
Dislivello (m). <i>Height difference</i>	300	750	300	360
Quota corona (m s.l.m.). <i>Crown elevation (m a.s.l.)</i>	900	1250	600	600
Quota piede (m s.l.m.). <i>Toe elevation (m a.s.l.)</i>	600	500	300	240
Lunghezza massima (m). <i>Maximum length</i>	1100	3500	2500	2500
Larghezza massima (m). <i>Maximum width</i>	400÷200	800÷350	750÷400	900÷300
Profondità massima (m). <i>Maximum depth</i>	27	>80	33	43
Profondità media (m). <i>Average depth</i>	18	40	14	20
Superficie (km ²). <i>Area</i>	0.05	2.2	1.4	1.1
Volume presunto (Mm ³). <i>Assumed volume</i>	0.9	90	19	23
Riattivazioni storiche. <i>Historical events</i>	?	1472, 1560, 1697, 1936	1700, 1960	1499, 1928, 1940, 1950, 1973, 1985, 1992
Ultima riattivazione. <i>Latest event</i>	1985	2000	2000	2002-2004

Le caratteristiche morfometriche delle frane e le loro riattivazioni storiche conosciute sono riportate in Tab. 1. Le ultime riattivazioni si sono manifestate secondo un modello ricorrente nelle grandi frane caratterizzate da movimenti di scivolamento e di colata. I primi processi deformativi si innescano nei settori di monte, in corrispondenza delle nicchie di distacco principali, con formazione di scivolamenti di rocce deboli e/o terra e detrito, che poi evolvono in fenomeni di scivolamento-colata, i cui accumuli si vanno a sovrapporre sui settori di frana situati più a valle. Tale sovraccarico può destabilizzare l'intero corpo principale della frana che, in occasione delle riattivazioni parossistiche, si trova presumibilmente in condizioni di consistenza prossime allo stato liquido per l'elevato grado di saturazione. Ad esempio, nel caso della riattivazione della frana di Ca' Lita, avvenuta nel 2004, questo processo ha portato ad un complessivo avanzamento del piede di circa 400 m (Borgatti *et al.*, 2005). Dati di monitoraggio raccolti tra il 2002 ed il 2004 nella frana di Ca' Lita ed in altri siti qui non descritti (Corsini *et al.*, 2006; Ronchetti *et al.*, 2007) permettono di ipotizzare che, mentre i meccanismi di riattivazione nella zona di coronamento sono principalmente di tipo idrogeologico, legati a fluttuazioni della falda ampie e rapide, nella parte di canale e di piede delle frane i meccanismi di riattivazione sono prevalentemente idro-meccanici, con fluttuazioni della falda limitate e rilevanti processi di sovraccarico non drenato (Hutchinson & Bhandari, 1971) (Fig. 4).

Comprendendo fase di innesco, progressivo sviluppo e

graduale attenuazione dei movimenti, gli ultimi eventi di riattivazione delle frane oggetto di studio hanno solitamente avuto durate di alcuni mesi, durante i quali si sono registrate velocità complessivamente lente, nell'ordine dei cm÷dm/giorno. In occasione dell'innesco di colate di terra in senso stretto, come a Ca' Lita e Magliatica, si sono raggiunte velocità sensibilmente maggiori, fino a 10 m/giorno. Gli spessori di materiale coinvolto sono risultati variabili da 10 m a oltre 40 m, a seconda della locale morfologia del substrato e delle specifiche caratteristiche dei fenomeni.

Indagini e progettazione delle opere

Per la realizzazione di opere di consolidamento il STB di RE ha negli anni sviluppato un protocollo di lavoro che prevede quattro fasi principali (Fig. 5):

- sopralluoghi e rilievi di campagna preliminari;
- indagini geognostiche propedeutiche alla progettazione;
- monitoraggio geotecnico e progettazione degli interventi;
- monitoraggio successivo alla realizzazione delle opere di consolidamento.

Durante la prima fase, oltre alla valutazione del rischio e degli eventuali danni alle infrastrutture e ai centri abitati coinvolti o minacciati, vengono raccolte le informazioni che consentono una prima caratterizzazione del fenomeno franoso e la definizione di opportune indagini e sistemi di monitoraggio.

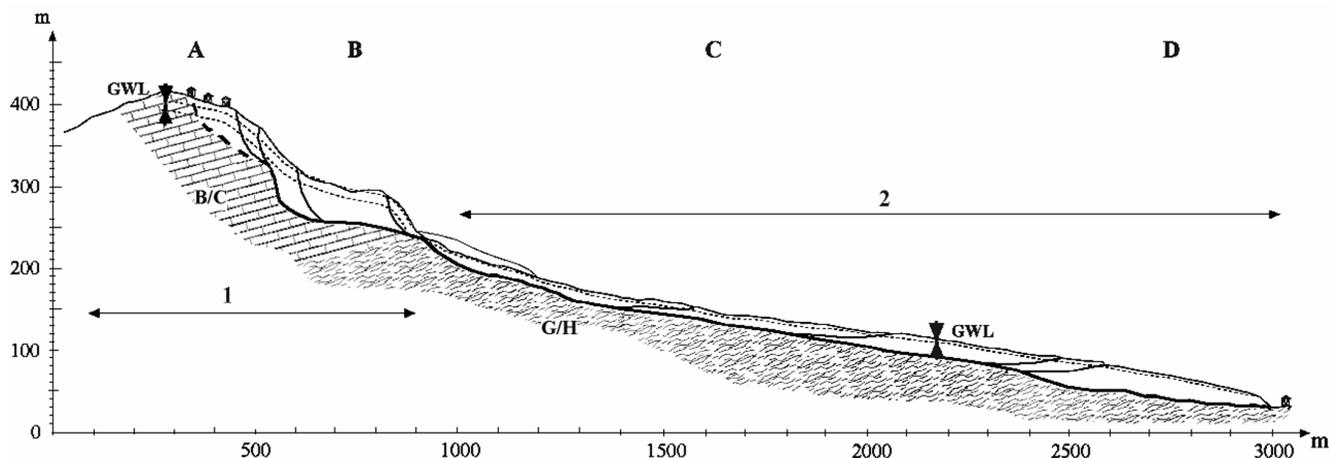


Fig. 4 – Schema delle modalità di riattivazione: A) coronamento; B) testata; C) canale di trasporto; D) piede; 1) meccanismi di riattivazione principalmente idrogeologici, con fluttuazioni della falda ampie e rapide; 2) meccanismi di riattivazione prevalentemente idro-meccanici, con fluttuazioni della falda minime e processi di sovraccarico non drenato
 Fig. 4 – Sketch of reactivation mechanisms: A) crown; B) head; C) main body; D) tip; 1) hydrogeological reactivation mechanisms, linked to large and fast fluctuations of water table; 2) hydro-mechanical reactivation mechanisms, linked to minimal fluctuations of water table and undrained loading

Nelle seconda fase, che prevede la progettazione e la realizzazione di una adeguata campagna di indagini geognostiche, l'obiettivo è la definizione delle dimensioni, delle geometrie e delle cinematiche evolutive del dissesto.

Nella terza fase si procede al monitoraggio della frana e alla progettazione e realizzazione degli interventi di consolidamento. Il monitoraggio permette di raggiungere diversi obiettivi: integrare le informazioni "statiche" delle indagini con la quantificazione reale degli spostamenti e individuare l'ubicazione strategica e le caratteristiche delle opere di consolidamento, con particolare riguardo per i settori di frana prossimi ai centri abitati e alle infrastrutture minacciate.

Quando la velocità di evoluzione dei fenomeni franosi e le elevate condizioni di rischio cui sono esposti i centri abitati e le infrastrutture rendono indifferibile l'intervento, alcuni lavori specifici, tra cui il ripristino della rete drenante superficiale ed il movimento terra, sono condotti anche prima del completamento della campagna di indagini e monitoraggio. L'esecuzione delle indagini e del monitoraggio consente, infine, di definire la localizzazione

e le caratteristiche tecniche delle definitive opere di consolidamento e di pianificare la realizzazione dei lavori per stralci successivi. In questa fase sono condotte inoltre verifiche di stabilità, in presenza ed in assenza delle opere previste, in modo da valutarne i potenziali benefici.

Nella quarta fase, successiva alla fine dei lavori, si prosegue nel monitoraggio dei versanti, al fine di verificare la stabilizzazione del fenomeno franoso, e si installano sistemi di controllo della funzionalità delle opere. Sempre più spesso si adottano sistemi di monitoraggio automatici con trasferimento dati in tempo reale via GSM-GPRS in modo da garantire tempestivi interventi di ripristino della funzionalità degli strumenti.

Il protocollo di lavoro appena descritto è stato applicato per la realizzazione degli interventi di consolidamento delle frane oggetto della presente nota. In particolare, nella prima fase e nella seconda fase, oltre alle tradizionali perforazioni a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, principalmente accompagnate da installazione di inclinometri e piezometri, sono stati realizzati anche rilievi geofisici e monitoraggi con tecnologie innovative (Tab. 2).



Fig. 5 – Schema di flusso delle attività condotte dal STB RE per la realizzazione di opere
 Fig. 5 – Flow scheme of the implementation stages of technical works

Tab. 2 – Indagini e strumenti di monitoraggio delle frane

Tab. 2 – *Landslides investigation and monitoring*

Indagini e prove / Investigations and tests		Acquabona	Cervarezza	Magliatica	Ca' Lita
Sondaggi a carotaggio continuo n° (profondità) <i>Core drillings (depth range)</i>		39 (25-50)	9 (20-80)	14 (15-40)	9 (15-90)
Sondaggi a distruzione di nucleo n° (profondità) <i>Open hole drillings (depth range)</i>		7 (20-40)	14 ⁽¹⁾ (20-80)	18 (15-30)	16 (15-60)
Sismica a rifrazione (m) <i>Refraction seismic (m)</i>		1900	960	4080	4560
Tomografia sismica 3D profondità 80 m (m ²) <i>Seismic 3D tomography (80 m in depth) (m²)</i>			320.000		
Tomografia elettrica (m) <i>Electric tomography (m)</i>				260	
Prove S.E.V. n° <i>S.E.V. tests</i>		37			
Potenziale spontaneo "Mise à la masse" n° <i>Spontaneous potential "Mise à la masse"</i>		260			
Prove Down hole (m) <i>Down hole tests (m)</i>		3		80	
Prove di permeabilità n° <i>Permeability tests</i>		2	3	1	7
Prove geotecniche n° (limiti, taglio, SPT ecc.) <i>Geotechnical tests (limits, strength, SPT etc.)</i>		35	6	8	5
LIDAR aviotrasportato n° scansioni <i>Airborne LIDAR images</i>					3
Monitoraggio / Monitoring devices	Acquisiz./Trasmissione Acquisition/Transmission				
Inclinometri n° / <i>Inclinometers</i>	Manuale / <i>Manual</i>	14	9	24	16
Cavi TDR n° / <i>TDR cables</i>	Automatica/manuale <i>Automatic/Manual</i>				3 ⁽²⁾
Piezometri n° / <i>Piezometers</i>	Manuale / <i>Manual</i>	8	5	10 ⁽³⁾	3
	Automatica/manuale	10			7
Estensimetri a filo n° / <i>Wire extensometers</i>	Manuale / <i>Manual</i>				4
Celle di carico per tiranti / <i>Load cells for cables</i>	Automatica / <i>Automatic</i>			8	10
Trasduttori di pressione nei pozzi n° <i>Pressure transducers in wells</i>	Automatica / <i>Automatic</i>	2	2	4	
Stramazzo per controllo della portata dei pozzi n° <i>Weirs for discharge monitoring</i>	Automatica / <i>Automatic</i>	1	1		
Assesimetri n° <i>Assesimeters</i>	Manuale / <i>Manual</i>	1			
Inclinometri fissi n° / <i>In-place inclinometers</i>	Manuale / <i>Manual</i>	2			
Note (*) / <i>Notes (*)</i>	(*) di cui nove fori per sismica 3D; due cavi TDR nello stessi fori di inclinometri; due piezometri sono nello stesso foro dell'inclinometro <i>(*) out of which nine boreholes for 3D seismicity; two TDR cables in the same borehole with inclinometers; two piezometers in the same borehole with inclinometers</i>				

A Cervarezza è stata eseguita una sismica tridimensionale profonda, mentre a Ca' Lita, oltre al monitoraggio realizzato attraverso una rete di strumenti quali inclinometri, piezometri, estensimetri a filo, cavi TDR e celle di carico, si sono utilizzati rilievi laser-scanner aerei che hanno permesso, attraverso la comparazione di successive scansioni, di quantificare con precisione sub-metrica le variazioni volumetriche intervenute sull'intero corpo di frana tra il 2004 ed il 2005 (Corsini *et al.*, 2007). In tutte le frane oggetto della presente nota, le indagini ed il monitoraggio sono stati realizzati progressivamente, procedendo per fasi che, sulla scorta dei dati raccolti, hanno condotto ad un graduale affinamento del modello

concettuale, geotecnico ed idrogeologico del versante. Tale modello è la base, in conformità alle disposizioni legislative vigenti, per verifiche di stabilità funzionali e ad una più mirata progettazione delle opere di consolidamento. Le verifiche di stabilità sono state condotte adottando un iniziale procedimento di back-analysis per determinare i parametri di resistenza mobilizzata nei terreni che, in contesti geologici fortemente eterogenei quali quelli in esame, sono difficilmente valutabili in modo congruo attraverso prove di laboratorio su campioni indisturbati e/o rimaneggiati. Tali parametri hanno consentito poi di verificare gli incrementi di fattore di sicurezza ottenibili con diversi possibili interventi di drenaggio, di sostegno e di

riprofilatura del versante. In generale, le verifiche di stabilità hanno indicato che un sensibile miglioramento del fattore di sicurezza poteva ottenersi attraverso un significativo drenaggio del corpo di frana, da associare ad opere di contenimento strutturale finalizzate sia ad un incremento delle forze resistenti sul versante, sia alla tutela delle opere di drenaggio stesse, vulnerabili in presenza di assestamenti importanti della frana.

Specifiche degli interventi

Gli interventi di consolidamento delle frane sono stati programmati e realizzati per stralci successivi, procedendo, quando possibile, da monte verso valle. Ogni stralcio è stato

finalizzato al consolidamento di singoli settori caratterizzati da peculiarità geotecniche ed evolutive.

Per le opere di sostegno, la scelta è ricaduta in tutti i casi su paratie costituite da una doppia fila di pali in cemento armato Ø 1000 mm disposti a quinconce, profondi fino ad un massimo di 16 m e collegati in testa da una trave in cemento armato (Tab. 3).

La trave viene ancorata al terreno mediante tiranti a più trefoli che vengono parzialmente pre-tensionati e in parte monitorati attraverso celle di carico. Per tutto lo sviluppo della paratia viene realizzato un muro fuori terra solidale con la trave.

Tab. 3 – Caratteristiche tecniche degli interventi

Intervento di mitigazione	[]	
Paratie		
Lunghezza	m	48.50+292.5
Altezza del cordolo	m	1.0
Altezza del muro	m	2.0-2.5
Spessore del cordolo	m	1.5+2.6
Spessore del muro	m	0.40+0.50
Profondità dei pali di fondazione	m	7.3-16.3
Diametro dei pali di fondazione	mm	1000
Pali di fondazione	n°	30+232
Ancoraggi	n°	10+112
Lunghezza degli ancoraggi	m	25.0-36.0
Diametro degli ancoraggi	mm	150
Tiranti per ancoraggio	n°	5
Resistenza dei tiranti	t	75
Pretensionamento/tensionamento tiranti	t	40-50
<i>Sistemi di monitoraggio</i>		
Celle di carico nei tiranti	n°	1+4
Inclinometri in pali di fondazione	n°	1+3
Pozzi drenanti		
Pozzi per ciascuno schermo	n°	4 -23
Profondità (m)	m	8.0+31.0
Diametro (m)	m	1.2+1.5
Distanza media tra i pozzi	m	7.0
Profondità della condotta di fondo	m	-6.5 ÷ -28.5
Diametro della condotta di fondo	mm	82
Metodo di drenaggio		gravità/pompa
<i>Sistemi di monitoraggio</i>		
Misuratori di portata	n°	-
Pozzi di grande diametro		
Diametro interno	m	8
Profondità (m)	m	12
Diametro dei pali (mm)	mm	800
Pali	n°	36
Drenaggi	n°	12
Ordini	n°	2
Profondità della condotta di fondo	m	11.5
Diametro della condotta di fondo	mm	160
Metodo di drenaggio		gravità
<i>Sistemi di monitoraggio</i>		
Misuratori di portata	n°	-
Dreni sub-orizzontali		
Drenaggi per schermo	n°	8-15
Diametro interno	mm	75
Lunghezza	m	50 - 100
Inclinazioni	°	10°-20°

Tab. 3 – Technical specifications of the interventions

Mitigation works	[]	
Retaining walls		
Length	m	48.50+292.5
Kerb height	m	1.0
Wall height	m	2.0-2.5
Kerb thickness	m	1.5+2.6
Wall thickness	m	0.40+0.50
Depth of foundation piles	m	7.3-16.3
Diameter of foundation piles	mm	1000
Foundation piles	no.	30+232
Tieback anchors	no.	10+112
Tieback anchors length	m	25.0-36.0
Tieback anchors core diameter	mm	150
Strands per anchor	no.	5
Strand strength	t	75
Pretensioning/tensioning	t	40-50
<i>Monitoring systems</i>		
Load cells in tieback anchors	no.	1+4
Inclinometers in foundation piles	no.	1+3
Drainage wells		
Wells for each row	no.	4 -23
Depth (m)	m	8.0+31.0
Diameter (m)	m	1.2+1.5
Average distance between wells	m	7.0
Depth of low-level collector	m	-6.5 ÷ -28.5
Internal diameter of discharge collector	mm	82
Drainage method		gravity/pump
<i>Monitoring systems</i>		
Flow meters	no.	none
Large-diameter wells		
Internal diameter	m	8
Depth (m)	m	12
Pile diameter (mm)	mm	800
Piles	no.	36
Drains	no.	12
Segments	no.	2
Depth of low-level collector	m	11.5
Internal diameter of discharge collector	mm	160
Discharge method		gravity
<i>Monitoring systems</i>		
Flow meters	no.	none
Sub-horizontal drains		
Drains per set	no.	8-15
Internal diameter	mm	75
Length	m	50 - 100
Inclination	°	10°-20°

Le paratie realizzate nei siti oggetto della presente nota variano in lunghezza tra i 50 ed i 300 m circa, e sono localizzate in modo tale da tagliare trasversalmente interi settori specifici dei corpi di frana (Figg. 6, 7, 8). A tergo dalle paratie sono state in alcuni casi realizzate batterie di dreni sub-orizzontali di lunghezza variabile, fino ad un massimo di 100 m. Il drenaggio profondo dei corpi di frana è comunque garantito, nella maggioranza dei casi, da schermi di pozzi drenanti e drenanti ispezionabili (\varnothing 1500

mm), alcuni dei quali posti a monte delle paratie di pali. Tali schermi, oltre a permettere il raggiungimento di discrete profondità (nell'ordine dei 30 m), si configurano come opere molto resistenti ed efficaci, ispezionabili e di facile manutenzione. Il numero e l'interasse dei pozzi è stato di volta in volta definito in base all'estensione dell'area da drenare e alla permeabilità dei terreni, e valutando per quanto possibile il potenziale raggio d'influenza di ciascun pozzo.

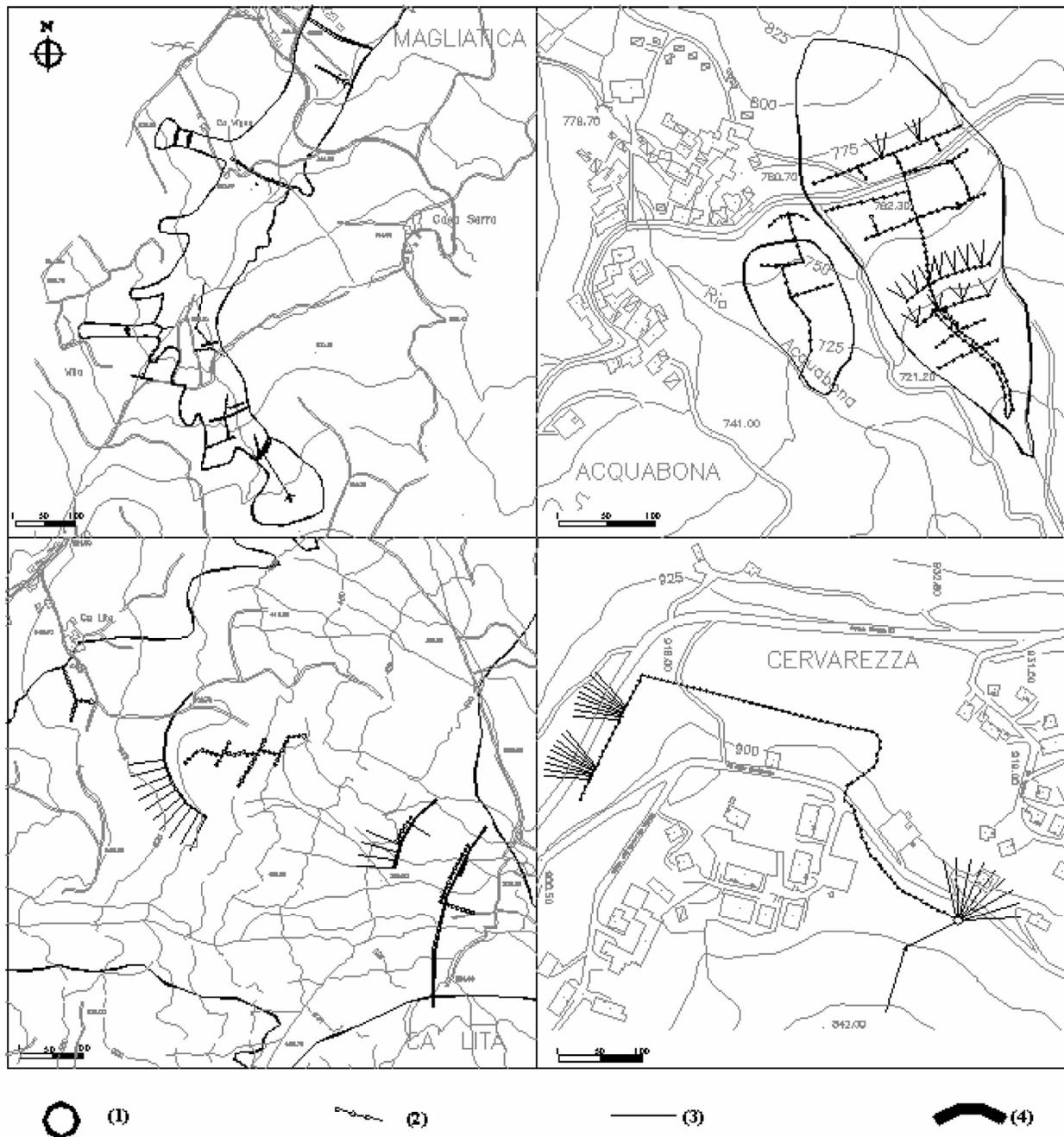


Fig. 6 – Schemi degli interventi: 1) pozzo di grande diametro; 2) schermo di pozzi drenanti; 3) dreno sub-orizzontali; 4) paratia
 Fig. 6 – Sketch of interventions: 1) large-diameter well; 2) shield of drainage wells; 3) sub-horizontal drain; 4) retaining wall

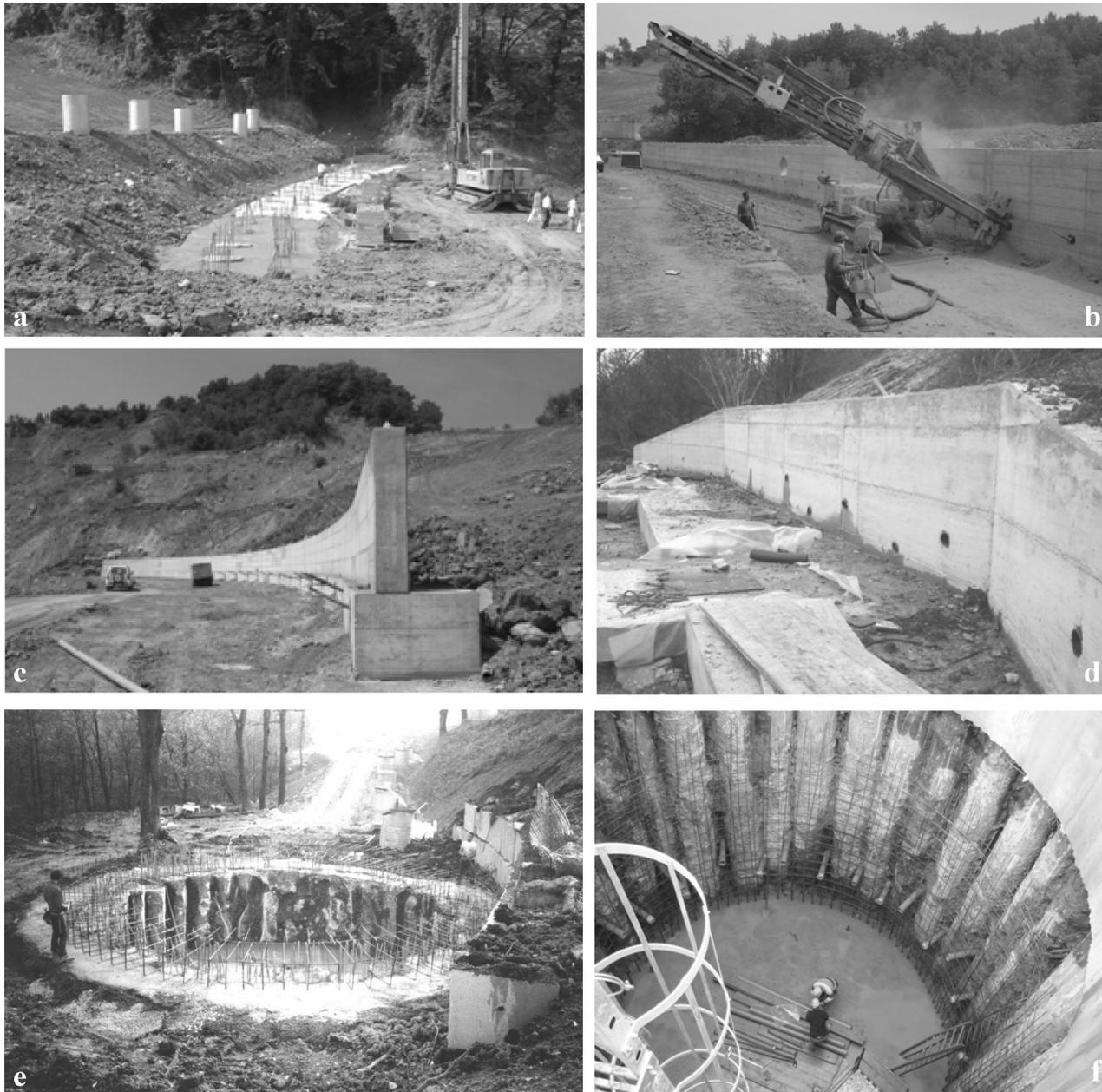


Fig. 7 – Tipologie di intervento: a) paratia fondata su pali in fase di costruzione, con schermo di pozzi drenati a monte; b) perforazione dei fori per i tiranti in corrispondenza del cordolo del muro; c) intervento ultimato; d) batteria di dreni sub-orizzontali; e) pozzo di grande diametro in fase di costruzione; f) fasi di ultimazione della batteria di dreni sub-orizzontali all'interno del pozzo di grande diametro
 Fig. 7 – Types of interventions: a) under construction retaining wall, founded on piles with upslope drainage wells; b) drilling of holes for tieback anchors in the wall kerb; c) intervention completed; d) set of sub-horizontal drains; e) under construction large-diameter well; f) completion phases of the set of sub-horizontal drains within the large-diameter well

Allo scopo di rendere agevoli gli interventi di manutenzione, gli schermi trasversali di pozzi sono stati in genere realizzati secondo moduli costituiti da un pozzo ispezionabile ogni tre pozzi complessivi (1 pozzo drenante ispezionabile ogni 2 pozzi solo drenanti). Tutti i pozzi sono inoltre collegati sul fondo da una condotta di scarico di Ø 80÷90 mm realizzata mediante esecuzione di perforazione sub-orizzontale dall'interno dei singoli pozzi. La raccolta e

lo scarico delle acque drenate dai pozzi è affidato ad uno schermo longitudinale di pozzi congiungente gli schermi di pozzi trasversali. Lo schermo di scarico, realizzato lungo la massima pendenza, è costituito da pozzi sempre più corti fino a raggiungere il piano campagna dove le acque vengono scaricate per sola gravità, o con l'utilizzo di pompe sommerse.



Fig. 8 – Frane consolidate: a) frana di Acquabona dopo la riprofilatura del versante e la quasi completa rivegetazione delle scarpate; b) frana di Magliatica. Si osservano le paratie e gli schemi di pozzi drenanti nella parte alta della frana; c) frana di Ca' Lita. Paratie nella scarpata secondaria

Fig. 8 – Stabilised landslides: a) Acquabona landslide after slope reshaping and growth of vegetation on scarps; b) Magliatica landslide. Retaining walls and drainage wells are visible in the upper part of the landslide; c) Ca' Lita landslide. Retaining walls on a secondary scarp

Un'ulteriore tecnica di drenaggio profondo, utilizzata nel sito di Cervarezza, è quella dei pozzi drenanti di grande diametro. In questo caso il pozzo (\varnothing 8 m e profondità 12 m) è stato realizzato mediante escavazione del terreno con miniescavatore o altre tecniche, all'interno di una corona di pali trivellati accostati in cemento armato. Al procedere dello scavo del pozzo sono state realizzate centine di collegamento e sostegno dei pali. L'azione drenante del pozzo si esplica grazie a fori passanti realizzati sulla parete del pozzo, ed è amplificata da ordini di aste drenanti sub-orizzontali perforate dall'interno. La scelta progettuale tra le due tecniche sopra descritte è funzione di vari fattori tecnici vincolanti, tra i quali, principalmente, le caratteristiche specifiche del dissesto e il grado di antropizzazione dell'area di intervento.

Le opere di sistemazione superficiali al termine dei lavori hanno permesso di conferire ai versanti profili finali

quanto più possibile migliorativi della stabilità, di regimare le acque superficiali e di ridurre i processi erosivi al fine di favorire lo sviluppo di una nuova copertura vegetale, anche con l'ausilio di interventi di idrosemina. Dopo l'ultimazione dei lavori si è inoltre provveduto al ripristino della rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico presente sul corpo di frana, eventualmente danneggiata dalla più recente evoluzione del dissesto e dalle attività di cantiere. Tale rete permette di controllare il comportamento meccanico e idrogeologico della frana e, quindi, di valutare l'efficacia dell'intervento di consolidamento eseguito.

Conclusioni

Le frane descritte in questa nota, caratterizzate da notevoli dimensioni e complessi processi evolutivi, dopo la realizzazione degli interventi di mitigazione sono rimaste in

condizioni di sostanziale quiescenza. Il giudizio in merito alla stabilità rimane invece sospeso per la frana di Ca' Lita, dove il piano di interventi non è ancora stato completato in alcuni settori.

Si può obiettare che è impossibile distinguere quanto la stabilità complessiva sia dovuta alle opere realizzate o dei processi di naturale sospensione e/o quiescenza dei movimenti che fanno seguito a fasi di riattivazione di tipo parossistico. Ciò è senz'altro vero, ma il superamento di alcuni eventi idro-meteorologici critici, tra cui quello della primavera 2004, nei siti di Acquabona, Cervarezza e Magliatica, è comunque indicativo di una migliore efficienza drenante nei versanti e di un loro maggiore equilibrio complessivo. Queste condizioni sono certamente favorite degli interventi stessi. Nondimeno, la verifica dello stato di stabilità dei versanti consolidati nelle frane di Acquabona, Cervarezza, Magliatica e Ca' Lita è continua, e si attua grazie ad una puntuale attività di monitoraggio basata su sistemi ad acquisizione manuale (inclinometri, piezometri, assestimetri, TDR ecc.) e, sempre più, su sistemi ad acquisizione automatica e trasmissione in remoto per la gestione in tempo reale dei dati (inclinometri fissi, piezometri, celle di carico ecc.). Tali reti di monitoraggio consentono altresì di mantenere sotto costante controllo la funzionalità delle opere di consolidamento in esse

realizzate, tra cui in particolare le opere di contenimento strutturale e di drenaggio profondo.

Detto ciò, si ritiene opportuno concludere con alcune considerazioni di carattere più generale. Occorre infatti constatare che, mentre le attuali tecniche hanno consentito di intervenire nella mitigazione di dissesti particolarmente complessi, che fino a qualche tempo fa avrebbero costretto all'abbandono del sito ed al trasferimento dell'abitato con notevoli costi economici e grave disagio sociale, tali interventi sono stati attuati solo a seguito di eventi calamitosi, con il risultato di rendere più elevati i danni e particolarmente onerosi i costi di messa in sicurezza. Per il futuro, è auspicabile un'inversione di tendenza, che consenta di spostare progressivamente l'attenzione verso la prevenzione, da realizzarsi sia attraverso una più puntuale attuazione degli strumenti di pianificazione territoriale, sia attraverso l'allocatione di maggiori risorse ai normali capitoli della programmazione degli interventi preventivi di difesa del suolo. Solo in tal modo sarà possibile fare crescere professionalmente i servizi tecnici preposti a tali attività, condurre approfonditi studi propedeutici, realizzare interventi di mitigazione e in seguito garantirne la manutenzione nel medio e lungo termine, evitando quindi di vanificare gli sforzi tecnici ed economici profusi nel consolidamento dei versanti.

Bibliografia

- Bettelli G., De Nardo M. T., 2001. Geological outlines of the Emilia Apennines (Italy) and introduction to the rock units cropping out in the areas of landslides reactivated in 1994-1999 period. In: G. Bertolini, M. Pellegrini, G. Tosatti (eds.) "Le frane della Regione Emilia-Romagna, oggetto di interventi di Protezione Civile nel periodo 1994-1999", Quaderni di Geologia Applicata, 8(1), 1-26, Pitagora Ed., Bologna.
- Borgatti L., Corsini A., Barbieri M., Sartini G., Truffelli G., Caputo G., Puglisi C., 2006. Active large-scale slow moving landslides in weak rock masses: a remarkable example from the Northern Apennines (Italy). *Landslides*, 3, 115-124.
- Borgatti L., Cervi F., Corsini A., Ronchetti F., Pellegrini M., 2007. Hydro-mechanical mechanisms of landslide reactivation in heterogeneous rock masses of the northern Apennines (Italy). Submitted to the First North-American Conference on Landslides, Vail, 2007.
- Corsini A., Borgatti L., Coren F., Vellico M., 2007. Use of multitemporal airborne Lidar surveys to analyse post-failure behaviour of earth slides. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32 (2), 116-120.
- Corsini A., Borgatti L., Pellegrini M., Ronchetti F., Borghi A., Campagnoli I., Caputo G., Gatti A., Leuratti E., Lucente C.C., Truffelli G., Sartini G., 2006. Monitoraggio di grandi frane riattivate e sospese nella valle del Fiume Secchia (Appennino settentrionale). *Giornale di Geologia Applicata*, 2, 35-44.
- Cruden D. M., Varnes D. J., 1996. *Landslide Types and Processes*. In: A.K. Turner & R.L. Schuster (eds.) "Landslides Investigation and Mitigation", Special Report 247, Transportation Research Board, National Academy Press, 3, 36-75, Washington, D.C.
- Garberi M. L., Palumbo A., Pizziolo M. With the contribution of Baldelli C., Barchiesi P., Bertolini G., De Nardo M. T., 1999. I numeri sulle frane. Regione Emilia-Romagna, Servizio Cartografico e Geologico, Bologna.
- Hoek E., Brown E. T., 1997. Practical estimates or rock mass strength. *Int. J. Rock Mech. & Mining Sci. & Geomechanics Abstracts*, 34(8), 1165-1186.
- Hutchinson J.N., Bhandari R., 1971. Undrained loading: a fundamental mechanism of mudflows and other mass movements. *Géotechnique*, 21, 353-358, London.
- Marinos P., Hoek E., 2001. Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 60, 85-92.
- Ronchetti F., Borgatti L., Cervi F., Lucente C. C., Veneziano M., Corsini A., 2007. The Valoria landslide reactivation in 2005-2006 (Northern Apennines, Italy). *Landslides*, 4 (2). 189-195.