

La frana di Ca' di Malta (Appennino bolognese): un “campo prova” per interventi di consolidamento di versante a basso impatto¹

Claudio Cavazza, Enrico Mazzini, Chiara Roffi

Regione Emilia-Romagna, Servizio Tecnico Bacino Reno, Viale Silvani, 6 40122 Bologna, E-mail: Ccavazza@regione.emilia-romagna.it
Emazzini@regione.emilia-romagna.it; Croffi@regione.emilia-romagna.it

The Ca' di Malta landslide (Bologna Apennines, Italy): a testing field for low-impact slope consolidation techniques.

ABSTRACT. This paper aims to contribute to the discussion on the effectiveness of stabilisation techniques commonly used in scaly clayey slopes. The Ca' di Malta landslide, localised in the Northern Apennines near Vergato (Province of Bologna, Italy), in the mid-River Reno Valley, is a complex landslide, with a “style of activity characterised by the temporal succession of different mechanisms”. The reactivations of the Ca' di Malta landslide occurred with small rotational-translational movements involving the steepest portions of the main scarp. These minor slides have caused a retrogression activity in the crown area. Subsequently, the displaced material has undergone a quick decline of its mechanical properties being saturated with water up to the liquid state of consistency, thus giving way to an advancing translational earth flow. Owing to its slow movement and small volume of the displaced material, this landslide cannot be classified as a High or Very High Risk Landslide, according to Law 267/98 criteria. However, this slope movement is suitable for a detailed study of the triggering landslide mechanisms in scaly clayey formations and for discussing the effectiveness of stabilisation works commonly known as “bio-engineering” techniques. The main topics tackled in the note are: i) slope movement monitoring; ii) groundwater pressure monitoring in the landslide crown and in the moving part of the slope; iii) observations on the effects of consolidation works in relation to the landslide movement. Since the latter are still going on, the results of monitoring activities can be discussed only at the end of the report. In particular, the effectiveness of deep draining systems – made up in this case of draining trenches – seems to be not as good as it would be expected because of the low hydraulic conductivity of the shale materials. Pore water pressure monitoring has demonstrated that water circulation in the crown area does not follow the rules that are usually applied in slope analyses. Indeed, it tends to be controlled mainly by vertical infiltration. This fact has considerable consequences on the landslide triggering events and on the draining potential of the remedial measures. Finally, a few remarks are given on the first results of bio-engineering new interventions on the landslide body.

Key terms: Scaly clay shales, Complex landslides, Bioengineering, Monitoring systems

Termini chiave: Argilloscisti fessurati, Frane complesse, Ingegneria naturalistica, Monitoraggio

Riassunto

La presente nota intende portare un contributo allo studio della funzionalità delle abituali tecniche di intervento impiegate in versanti costituiti da formazioni argilloscistose. La frana di Ca' di Malta, localizzata nell'Appennino settentrionale, a circa 30 km a sud di Bologna, nella Valle del Fiume Reno, nei pressi del centro abitato di Vergato, per i suoi lenti cinematismi e per il volume limitato di materiale coinvolto nel franamento, non costituisce un fenomeno a rischio molto elevato, secondo i canoni della L. 267/98, ma si presta molto bene allo studio di dettaglio dei meccanismi che regolano il franamento di argilloscisti fessurati e delle tecniche di intervento a basso impatto, che vengono abitualmente classificate come “ingegneria naturalistica”. I

campi di sperimentazione affrontati in questo caso sono il rilevamento topografico con tecniche innovative, il monitoraggio delle pressioni interstiziali nei materiali alterati di superficie e nel substrato, nonché il monitoraggio del comportamento degli interventi di consolidamento. Benché l'avanzamento dei lavori di consolidamento sia ad uno stadio non definitivo, è possibile trarre alcune conclusioni riguardo alla funzionalità dei sistemi di drenaggio profondo, all'infiltrazione superficiale, in relazione ai reticoli di drenaggio superficiale e all'attecchimento di vegetazione di nuovo impianto.

1 Introduzione

Le tecniche di intervento mirate alla stabilizzazione di frane

¹ Lavori eseguiti con OPCM n° 3090/2000 – Prima Fase del Piano generale straordinario per interventi urgenti di ripristino, finanziati con le risorse dell'O.M. n° 3110/2001 e O.M. n° 3135/2001

in versanti argillosi, in particolare in argillocisti fessurati (Argille a Palombini e Argille Varicolori nel caso specifico), o altre litologie con caratteristiche reologiche simili, hanno spesso un successo molto limitato poiché, data la natura dei terreni, male si prestano ad interventi strutturali, quali: sostegni in cemento armato, palificate, tirantature, ecc. Qualora si opti per tali scelte di intervento, la deformazione viscosa pressoché continua di alcune porzioni del versante porta comunque al permanere di spostamenti (Evangelista, 1997) che quasi sempre causano il danneggiamento delle strutture rigide. Quando gli interventi strutturali sono associati a tecniche di riequilibrio ambientale (ingegneria naturalistica, regimazione idraulica controllata, ecc.) le probabilità di successo aumentano sensibilmente (Bernardi *et al.*, in questo volume). La complementarietà degli interventi strutturali, di tipo idraulico-ingegneristico e di quelli vegetazionali, trova riscontro anche nei principi di base degli approcci allo studio, in ambienti estremi, del problema della lotta antierosiva: quello di Bennet (1939), secondo cui “...l'erosione è direttamente correlata alla massa delle particelle ed alla velocità, pertanto l'azione antierosiva è da farsi mediante mezzi meccanici che realizzino opere idrauliche (fossi, arginelli, dreni ecc.) che riducono la velocità di ruscellamento e pertanto la forza erosiva...” e quello di Wischmeier & Smith (1978), convinti che “...l'erosione per ruscellamento si sviluppa in conseguenza al degrado della struttura più superficiale del suolo in parte causata dall'impatto della pioggia. Pertanto l'azione antierosiva si esplica garantendo una copertura vegetale e utilizzando tecniche colturali appropriate e con impatti modesti sul paesaggio rurale”. Esistono tuttavia situazioni particolari in cui le scelte di intervento andrebbero valutate con molta attenzione, senza escludere la possibilità di accettare la presenza del movimento franoso, ottimizzando l'uso del territorio circostante (Pellegrino, 1997). In particolare, quando i versanti instabili non costituiscono un rischio significativo per la vita umana, potrebbero essere controllati con periodiche manutenzioni o lavori di intervento occasionali, ad esempio, con l'asportazione del materiale franato se questo minaccia la funzionalità di qualche importante infrastruttura. La frana di Ca' di Malta, per i suoi lenti cinematismi e per il volume limitato di materiale coinvolto nel franamento (Mora *et al.*, 2003; Berti *et al.*, Simoni *et al.*, 2004), potrebbe essere collocata in quest'ultima casistica, se non fosse che alcuni importanti elementi esposti al rischio la rendono comunque meritevole di attenzioni particolari, tra questi: la prossimità di un'importante strada provinciale che collega i Comuni di Vergato e Grizzana Morandi; la vicinanza di alcuni edifici alle nicchie principali di distacco; il potenziale rischio di allagamento di alcune porzioni dell'abitato di Vergato in caso di ostruzione del Fiume Reno. La recente fase di attività ha fatto sì che il caso in esame venisse inserito tra quelli segnalati alla Protezione Civile per una richiesta di intervento per la sua messa in sicurezza (Ordinanza

Ministeriale 3090/2000).

La presente nota descrive l'attività svolta dal Servizio Tecnico Bacino Reno nelle operazioni di consolidamento e monitoraggio della frana, alla luce di quanto già premesso e nell'ottica di illustrare le motivazioni che hanno guidato la scelta delle tecniche di consolidamento per cui si è optato. Benché non vengano qui presentate novità di rilievo sulla reologia delle formazioni argillitiche, che non siano già state pubblicate, si propone al lettore un approccio innovativo alle tecniche di consolidamento.

2 Area di studio

2.1 Contesto geologico e ambientale

Il substrato dell'area di frana è rappresentato dalla Formazione delle Argille a Palombini (Cretaceo inf.-Cenomaniano) e dalla Formazione delle Argille Varicolori (Cenomaniano-Turoniano?), appartenenti all'unità strutturale più alta della catena nord-appenninica (Liguridi) (Regione Emilia-Romagna, 1994). Tali formazioni affiorano estesamente, quasi sempre con morfologie calanchive, nel versante destro di questo tratto della valle del Reno e sono in contatto tettonico con lembi epiliguri delle Formazioni di Cigarellino, di Pantano e delle Marne di Antognola che affiorano sul crinale presso l'abitato di Grizzana Morandi. I dislocamenti tettonici si estendono anche all'interno delle stesse formazioni argillitiche (Argille Varicolori e a Palombini) e sembrano influenzare alcune importanti frane del versante in oggetto. Lo stralcio della carta geologica di figura 1 evidenzia un lineamento, di tracciato incerto, che delimita in destra la frana di Ca' di Malta.

Negli strati più superficiali dei versanti argillitici si ritrovano materiali a componente argillosa alterata, o veri e propri depositi di frana.

2.2 Le formazioni argillitiche

La formazione delle Argille a Palombini della Val Scoltenna è composta da unità fortemente deformate o completamente scompagnate in cui non è più possibile il riconoscimento di strati. Tale formazione è nota in bibliografia anche con il nome “storico” di Argille Scagliose (Pini, 1999). Dal punto di vista compositivo si tratta di depositi argillitici grigio-scuri, fissili, con intercalazioni di calcari micritici grigi e biancastri in strati medi e sottili e di sottili livelli di arenarie fini laminate, talora con presenza di blocchi ofiolitici (Regione Emilia-Romagna, 1994).

Nell'area di frana (Fig. 1) la Formazione delle Argille a Palombini contiene qualche inclusione tettonica a scala decametrica di Argille Varicolori di Grizzana Morandi che si differenziano dalle precedenti per la presenza di colorazioni rossastre nelle argilliti ed intercalazioni di calcilutiti verdognole ridotte a *boudins*.

2.3 Inquadramento vegetazionale-ambientale

L'area in esame interessa una porzione di versante

immediatamente sovrastante il corso del Fiume Reno, in destra idraulica, all'interno del Comune di Grizzana Morandi, con altitudini comprese tra 180 e 300 m s.l.m. ed esposizione prevalente ad ovest. Relativamente alle caratteristiche fitoclimatiche, l'area rientra nell'ambito della fascia del *Castanetum*, sottozona calda, secondo la classificazione fitoclimatica di Pavari (1916).

I fattori climatici (Fig. 2) sono caratterizzati da un regime termico di tipo temperato subcontinentale, con temperature medie annue comprese tra 10° e 12° e forti escursioni termiche tra il periodo freddo (media di gennaio 1,5 °C) e quello più caldo (media di luglio 24 °C). La

pluviometria risulta di tipo submediterraneo, con piogge distribuite nei mesi autunno-invernali e un periodo siccitoso estivo.

La zona boscata ripariale risulta limitata ad una ristretta fascia sovrastante l'alveo fluviale ed è caratterizzata dalla presenza di specie igrofile arboree ed arbustive, appartenenti prevalentemente ai generi *Salix* (in genere ibridi di *Salix purpurea*, *Salix triandra*, *Salix alba*, quest'ultimo sempre allo stadio arbustivo) e *Populus* (soprattutto *Populus alba*), oltre ai più sporadici ligustro, rosa canina, robinia ed olmo.

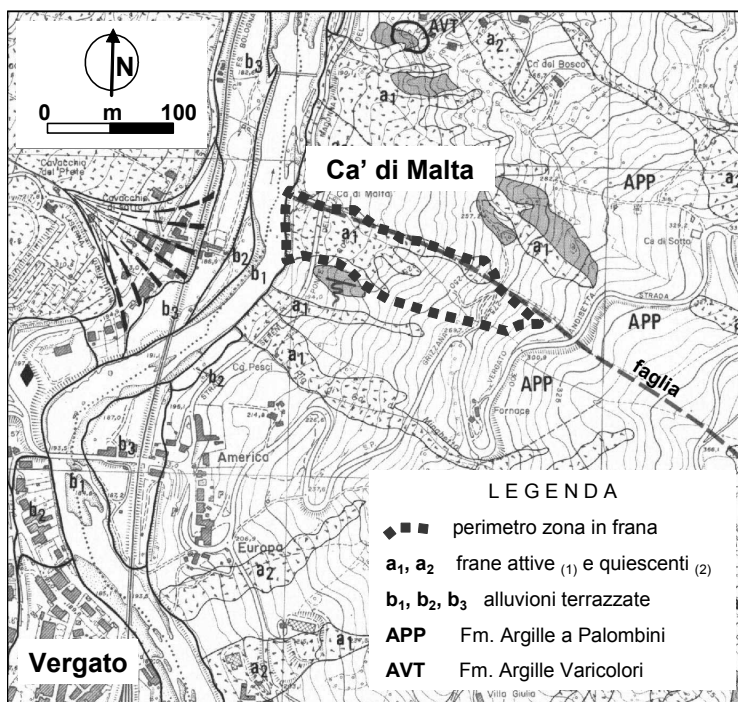


Fig. 1 – Carta geologica dell'area di Ca' di Malta (Regione Emilia-Romagna, 1994, modificata)
 Fig. 1 – Geological map of the Ca' di Malta area (modified after Regione Emilia-Romagna, 1994)

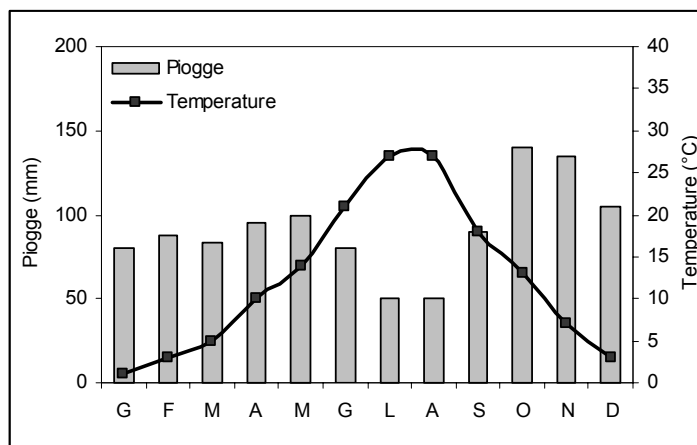


Fig. 2 – Diagramma climatico dell'area di Ca' di Malta
 Fig. 2 – Climatic diagram of the Ca' di Malta area ("pioggie" = precipitation)

Il versante, interessato in prevalenza da terreni ex-agricoli in fase di abbandono, è caratterizzato dalla presenza di specie erbacee ed arbustive tendenzialmente termofile. Salendo lungo la pendice si ritrovano lembi residui di bosco di latifoglie tipico delle formazioni quercine. Le condizioni pedologiche, ed in particolare la natura a matrice fortemente argillosa dei terreni, limitano notevolmente la fertilità del suolo, favorendo comunque la presenza di roverella, ornio, carpino nero, olmo. Nei campi in abbandono, caratterizzati da un microclima tendenzialmente termo-xerofilo, sono presenti varie specie arbustive: biancospino, rosa canina, ginepro, perastro, prugnolo, corniolo, sanguinello, ligustro. Varie graminacee e leguminose erbacee (generi *Inula*, *Poa*, *Lolium*, *Festuca*, ecc.) colonizzano le porzioni meno soggette ad erosione del versante in frana.

3 La frana di Ca' di Malta

3.1 Descrizione della frana di Ca' di Malta

L'attività franosa di Ca' di Malta viene di seguito descritta considerando la sua cronistoria, anche alla luce degli interventi di emergenza e dai lavori eseguiti sul corpo di frana. Essa è di fatto un fenomeno che ha subito una serie di riattivazioni alle quali si è "posto rimedio" con tecniche che in alcuni casi ne hanno solo posticipato la riattivazione. Il sistema di monitoraggio predisposto è stato incentrato principalmente sulla misura delle pressioni interstiziali in zona di nicchia e sulla stima degli spostamenti (superficiali e profondi) rapportati alle tipologie di intervento che afferiscono essenzialmente alla "bioingegneria".

3.2 Cronistoria della frana

Lo schema temporale riportato in figura 3 riassume i principali punti riguardanti l'attività franosa, il monitoraggio e la realizzazione degli interventi sull'area di frana.

Le prime informazioni riguardanti la storia del versante dissestato di Ca' di Malta risalgono al 30 maggio 1914 (Archivio di Stato, 1914; Autorità di Bacino del Reno, 1998). Si riportava, infatti, della distruzione di parte della strada per Vergato a Carviano, in località Ca' di Malta. Da allora la frana è rimasta presumibilmente quiescente o, quanto meno, i movimenti sono sempre rimasti entro una soglia accettabile fino al 1996 quando, nel mese di ottobre, si verifica un'intensa fase di attività che porta alla parziale distruzione della difesa spondale in gabbioni posta alla base del versante (non si hanno informazioni riguardo alla sua realizzazione), alla quasi totale occlusione dell'alveo del Fiume Reno e alla distruzione completa del tratto di strada comunale. Il fianco destro ha inoltre lambito l'edificio posto sotto strada in località Ca' di Malta. A seguito del preoccupante franamento, il Comune di Grizzana Morandi esegue un intervento di emergenza consistente essenzialmente in una sistemazione del versante mediante l'escavazione e allontanamento dell'ammasso di frana che

occludeva parzialmente l'alveo del fiume, senza però predisporre un'adeguata rete di drenaggio superficiale. Inevitabile conseguenza della mancanza di un corretto drenaggio fu la mobilitazione della parte mediana della frana successivamente ad un'intensa piovosità nell'ottobre 1998 (Mora *et al.*, 2003). Il monitoraggio degli spostamenti ha consentito la definizione di un modello geologico di progetto dal quale è derivato un progetto esecutivo di intervento, a cui viene affiancato un programma di monitoraggio degli spostamenti e delle pressioni interstiziali in continuo nella zona di nicchia.

Nell'inverno del 2003, quando le opere di consolidamento non erano ancora state completate (in particolare non era stato terminato il reticolo di scolo superficiale), a seguito di abbondanti nevicate e di un repentino scioglimento della coltre nevosa che aveva gravato sul corpo di frana, si sono verificati alcuni fenomeni localizzati di riattivazione. Il completamento dei lavori ha consentito di creare i presupposti per una stabilizzazione a medio termine.

Dai risultati del monitoraggio strumentale degli spostamenti è risultata evidente una lenta attività deformativa della zona di nicchia imputabile all'infiltrazione

Tab. 1 – Caratteristiche morfometriche del movimento franoso in oggetto

Tab. 1 – *Morphometric features of the study landslide*

Localizzazione topografica dell'area di studio

C.T.R. Regione Emilia-Romagna, scala 1:10.000:
sezione n. 237100 (Vergato)

Coordinate geografiche medie del corpo di frana: lat.
44°17'28" N; long. 11°07'15" E

Bacino idrografico: Fiume Reno

Sottobacini: Rio Ca' di Minghetto e corsi d'acqua
minori

Morfometria della frana

- pendenza media:	14,5°
della zona di accumulo	8°
della zona di nicchia	25-30°
- dislivello:	105 m
- quota del coronamento:	290 m
- quota del piede:	185 m
- lunghezza massima:	450 m
- larghezza massima:	190 m
- profondità massima:	5-7 m
- superficie della frana:	47.000 m ²
- volume presunto della frana:	120.000 m ³

Classificazione della frana

(secondo Cruden & Varnes, 1996):

Movimento gravitativo complesso e composito (*complex and composite landslide*), riattivato, manifestato da scorrimenti rotazionali e roto-traslativi di terra (*rotational and rotational-translational earth slide*) e colate di terra superficiali (*earth flow*).

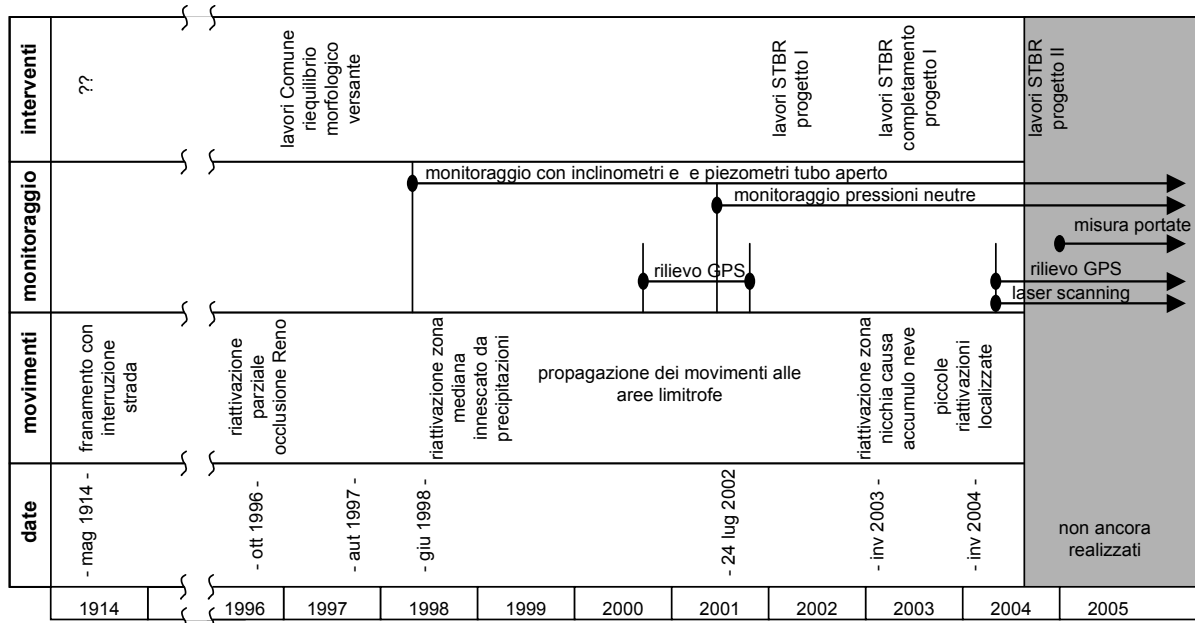


Fig. 3 – Cronoschema degli eventi essenziali che hanno coinvolto la Frana di Ca’ di Malta
 Fig. 3 – Chronological scheme of the main events affecting the Ca’ di Malta landslide

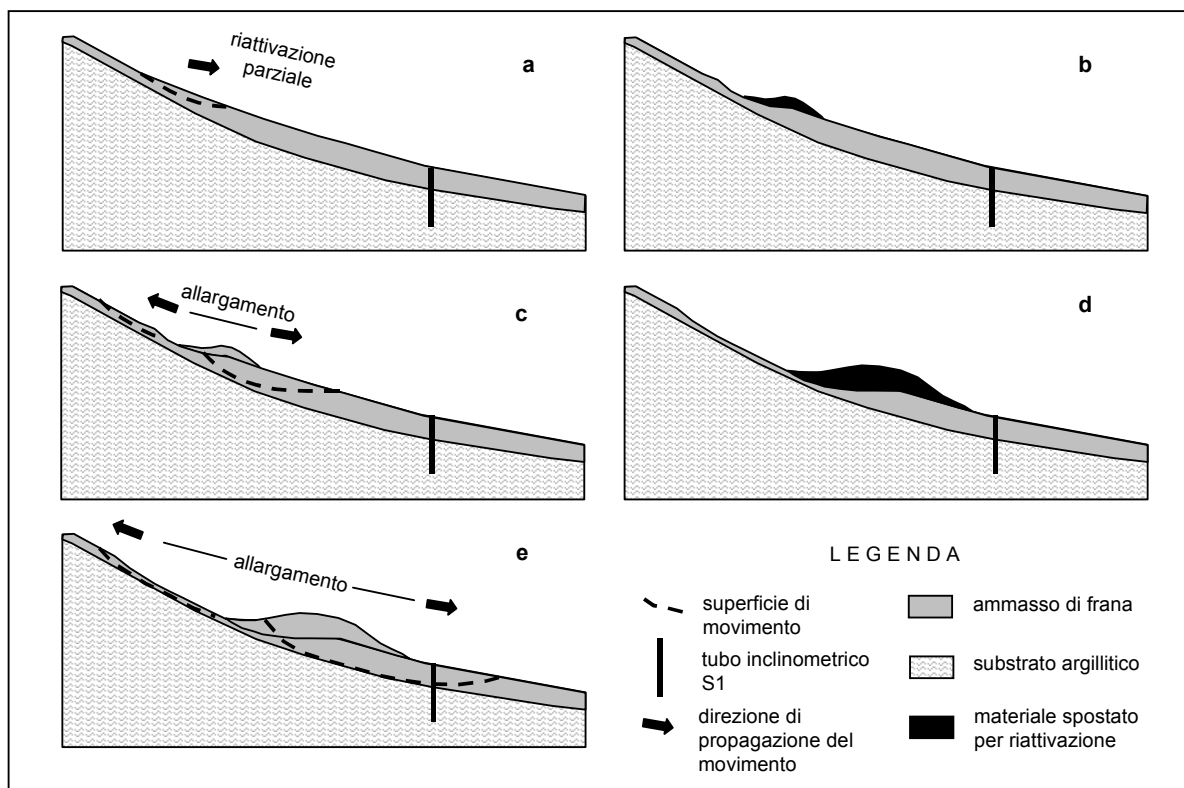


Fig. 4 - Meccanismo di riattivazione della frana di Ca’ di Malta. (a, b): Attivazione di piccole porzioni del corpo di frana principale. (c): Il materiale spostato sovraccarica la zona a valle e la nicchia destabilizza la porzione a monte dell’area riattivata. (d, e): Per fasi di attività successive la riattivazione si propaga spazialmente
 Fig. 4 – Reactivation mechanism of the Ca’ di Malta landslide. (a, b): Activation of small portions of the main landslide body. (c): Overload of the displaced material on the downhill area. (d, e): Spatial propagation of the reactivation

superficiale nell'area compresa tra la nicchia principale e la strada provinciale di monte. Inoltre, alcune emergenze idriche in sinistra del corpo di frana principale, collegate presumibilmente alla circolazione idrica lungo discontinuità profonde collegate alla faglia riportata in carta geologica, hanno evidenziato una carenza nella capacità drenante dei fossi in sinistra. Per queste ragioni è stato predisposto un secondo progetto di intervento che ha il compito di porre rimedio alle problematiche emerse nel 2004 e di estendere gli interventi anche ad un'area limitrofa della stessa unità idromorfologica.

3.3 Cinematismi

Il cinematismo tipico di innesco, propagazione e coalescenza dei movimenti è stato identificato in una sequenza di movimenti che, come riportato in figura 4 e illustrato in Mora *et al.* (2003), vengono descritti brevemente nel seguito. La frana è di tipo complesso e riattivato (Cruden & Varnes, 1996), consta di un iniziale scivolamento roto-traslativo e di una successiva colata che si estende sino al fondovalle. Il meccanismo di innesco è stato identificato come un'attivazione di piccole porzioni del corpo di frana principale (Fig. 4a, b). Il materiale spostato sovraccarica la zona a valle aumentando gli sforzi di taglio lungo superfici di debolezza già presenti, mentre la

nicchia di neoformazione diminuisce il contributo delle resistenze sulla porzione a monte dell'area riattivata (Fig. 4c). Per fasi di attività successive la riattivazione si propaga spazialmente sia longitudinalmente (Fig. 4d, e) sia lateralmente.

L'area totale interessata dalla frana, prima della realizzazione dei lavori del 2003, è di 47.000 m² e la pendenza media pari a 14,5°. Il versante, abbastanza regolare, si raccorda con l'alveo del Fiume Reno. Il suo profilo è leggermente concavo nella parte medio-inferiore, nonostante la presenza di un accumulo terminale, e convesso nella parte superiore, a monte della nicchia di distacco. Alcuni collettori secondari solcano il versante accanto e all'interno dell'area di frana, producendo comunque incisioni modeste che non influiscono significativamente sulla pendenza generale.

4 Monitoraggio

Al fine di monitorare gli spostamenti della frana con un sistema di misura correlabile ai potenziali meccanismi di innesco, sono stati predisposti strumenti di controllo ad acquisizione continua e discontinua. Il sistema di monitoraggio consta di:

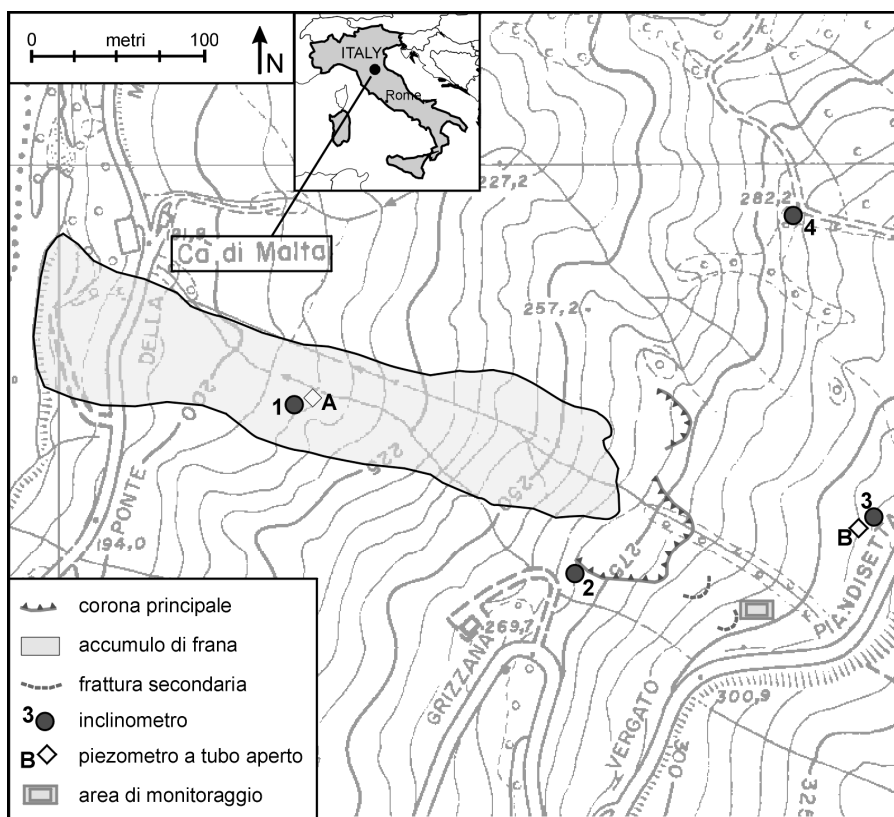


Fig. 5 – Localizzazione degli strumenti di monitoraggio piezometrico ed inclinometrico (da Berti *et al.*, 2003). Con il termine area di monitoraggio si intende la localizzazione delle 5 colonne piezometriche con sensori elettrici a lettura in continuo e stazione pluviometrica
 Fig. 5 – Location of piezometers and inclinometers (after Berti *et al.*, 2003). The area monitored is defined by five piezometer logs equipped with continuous-reading electric sensors and by a pluviometric gauge

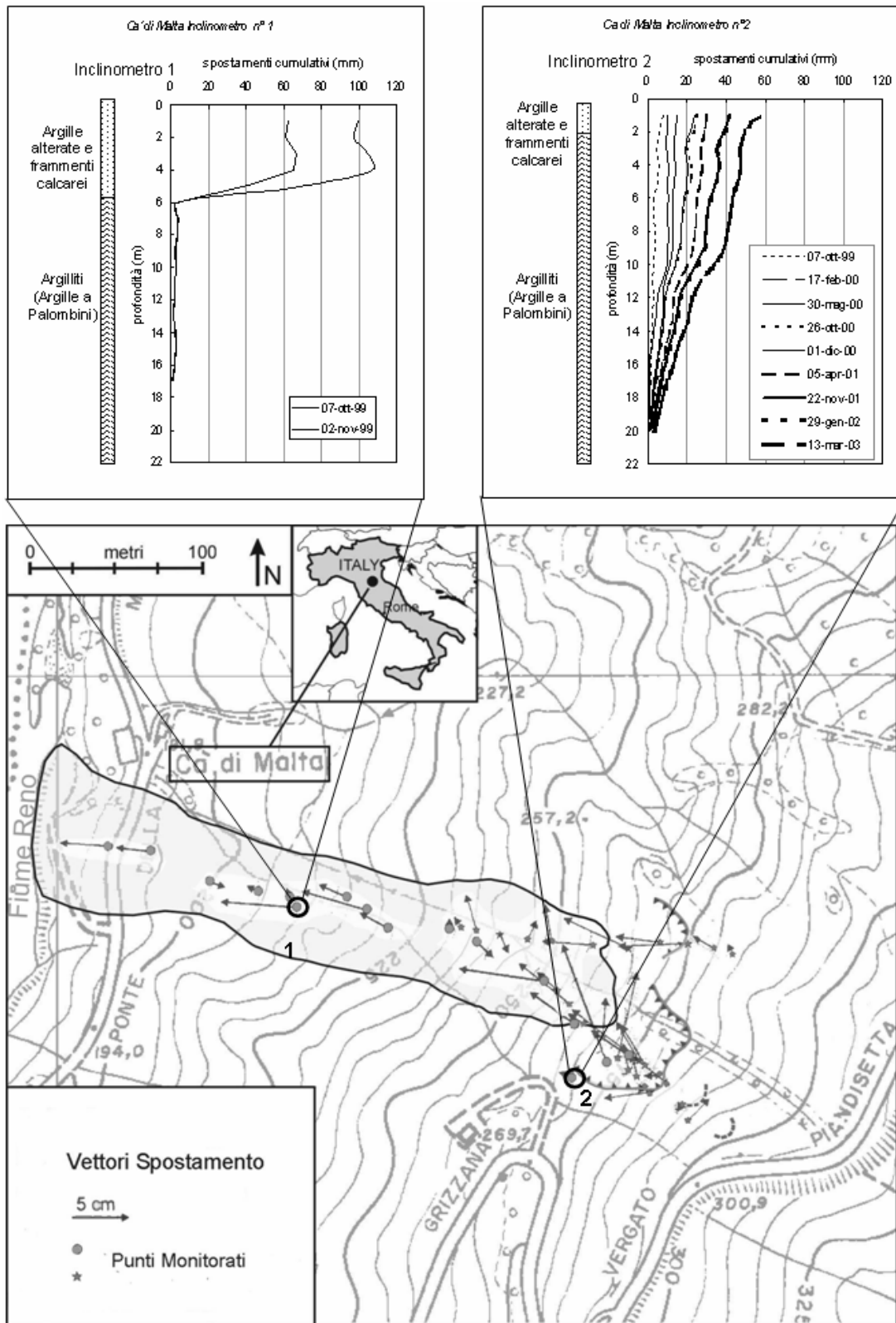


Fig. 6 – Misura degli spostamenti superficiali e profondi della frana di Ca' di Malta. I vettori spostamento indicano il movimento registrato durante il primo periodo di monitoraggio GPS (ott. 2000-feb. 2001)

Fig. 6 – Measurement of superficial and deep displacements of the Ca' di Malta landslide. Displacement vectors indicate the movement recorded during the first GPS monitoring period (Oct. 2000-Feb. 2001)

- n. 4 inclinometri con profondità variabili da 18 a 22 m;
- n. 2 piezometri a tubo aperto con profondità variabili da 8 a 15 m finestrati lungo l'intero corpo di frana attraversato (messi in opera da STBR) (figura 5);
- n. 1 stazione pluviometrica;
- n. 5 colonne piezometriche a lettura continua con trasduttori di pressione elettrici posti a profondità variabili (messa in opera da Università di Bologna e STBR) (Ghirotti *et al.*, 2004);
- strumentazione topografica GPS: 13 punti monitorati in modalità statica (rapida); 1 stazione permanente (con antenna) ad acquisizione continua e innumerevoli punti di rilievo in modalità cinematica.

4.1 Deformazioni del corpo di frana e dell'area limitrofa

Nel corpo principale della frana l'inclinometro 1 ha segnalato un piano di rottura plastica alla profondità di 5,5 m (la ridotta profondità è conseguente anche all'opera di asportazione di materiale effettuata durante i lavori del

1997), vale a dire in corrispondenza della superficie di debolezza originaria della frana. Gli inclinometri posti al di fuori dell'area di frana (es. inclinometro 2 in Fig. 6), tuttavia, non sono rimasti completamente stabili, ma hanno evidenziato un comportamento viscoso dei livelli più superficiali, con una deformazione che si riduce progressivamente dalla superficie in profondità. Tale movimento differenziale è stato comprovato anche dai rilievi GPS (Fig. 6, vettori spostamento) che hanno segnalato velocità di spostamento elevate sul corpo di frana e velocità molto basse (ma non nulle) esternamente all'area franosa.

4.2 Monitoraggio piezometrico e modello idrogeologico

Il modello idrogeologico del sottosuolo della frana di Ca' di Malta è stato analizzato e approfondito nell'ambito di vari progetti di ricerca (formalizzati in varie forme tra Servizio Tecnico Bacino Reno e Dipartimento di Scienze della Terra e Geo-Ambientali dell'Università di Bologna).

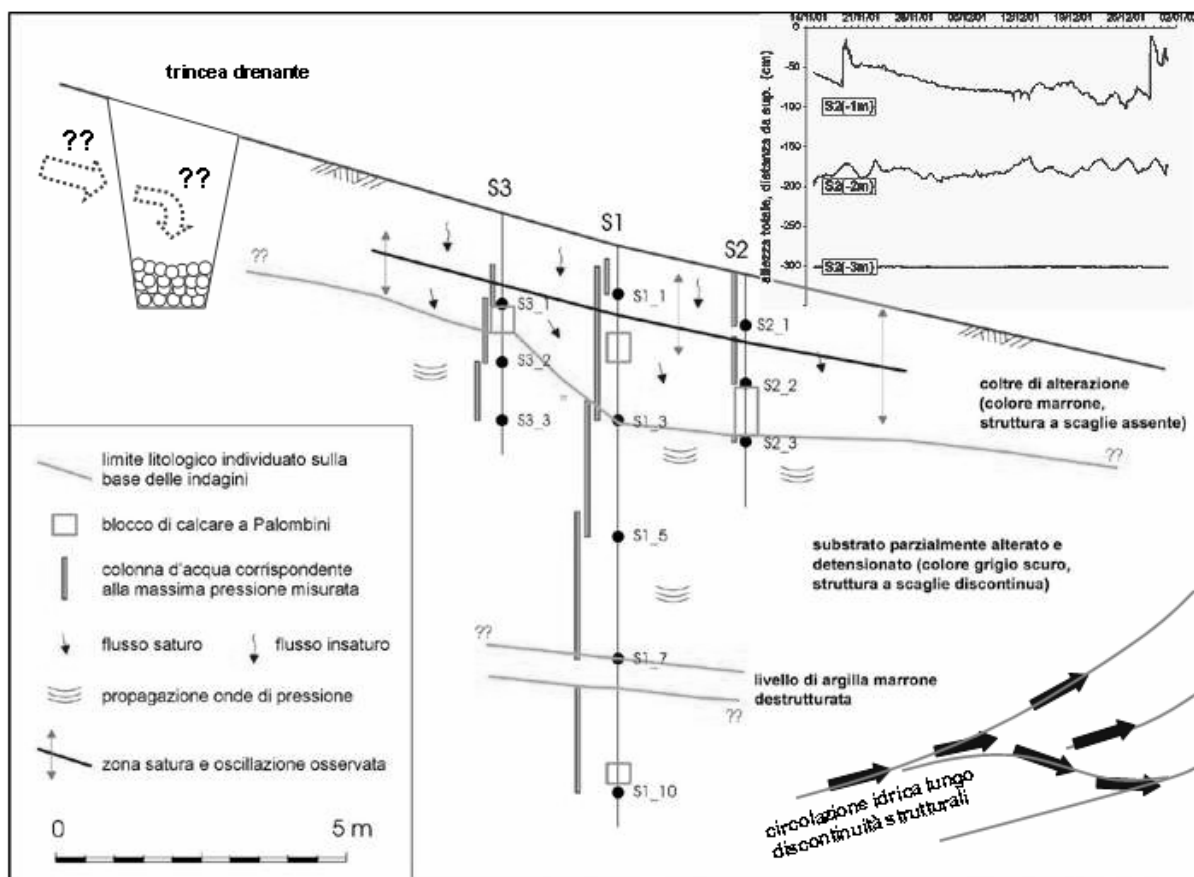


Fig. 7 – Sezione schematica della zona di nicchia di frana e del sistema di monitoraggio piezometrico ivi installato (da Ghirotti *et al.*, 2004, modificata). Gli idrogrammi in alto a destra mostrano il rapporto tra sensori delle pressioni neutre posti a profondità crescenti lungo la colonna 2 (quella più a valle delle tre riportate) in uno stesso periodo idrologico. Lo schema di circolazione profonda in basso a destra è puramente indicativo, così come lo schema della trincea drenante, poiché per ragioni di scala non avrebbero potuto comparire

Fig. 7 – Schematic section of the landslide's crown area and the monitoring system here implemented (modified after Ghirotti *et al.*, 2004). Hydrograms on the top right show the trends of pore pressure sensors placed at increasing depths along log 2 during the same hydrological period. The scheme of water circulation at depth, on the low right, is merely indicative since it could not be represented at the same scale

Il modello idrogeologico è dettagliatamente descritto in Berti *et al.* (2003), Ghirotti *et al.* (2004) e Simoni *et al.* (2004), soprattutto riguardo agli effetti delle variazioni di pressioni interstiziali nella zona di nicchia. Vengono pertanto qui riportati i risultati più importanti di tali studi, che hanno avuto un peso determinante sulle scelte progettuali.

La strumentazione piezometrica in nicchia, schematizzata in sezione di figura 7 evidenzia l'esistenza di differenti livelli di circolazione idrica del sottosuolo:

- una circolazione superficiale nella coltre di alterazione, influenzata direttamente dalla piovosità in cui il movimento dell'acqua avviene con moto principalmente verticale e quasi mai parallelo al versante, come suggerirebbero, invece, alcuni modelli di verifica di stabilità dei versanti con pendio indefinito;
- una circolazione più profonda nel substrato argillitico a bassa permeabilità in cui il trasferimento di massa è rallentato rispetto alla piovosità, al contrario delle variazioni delle tensioni neutre che si propagano come onde di pressione;
- una circolazione in discontinuità strutturali, non rilevata con certezza dalla strumentazione, ma testimoniata dai numerosi affioramenti idrici costantemente alimentati anche in stagioni particolarmente secche (es. l'estate 2003).

Ad un modello idrogeologico così strutturato mal si adattano quelle tecniche di consolidamento che hanno il compito di intercettare le acque circolanti parallelamente al versante come: trincee drenanti, dreni suborizzontali ecc. I punti interrogativi riportati in figura 7 in corrispondenza

della trincea drenante sottolineano, infatti, lo scarso effetto ottenuto con la realizzazione di una fossa drenante che ci si aspettava potesse intercettare l'acqua proveniente dal versante a monte della nicchia.

5 Interventi di consolidamento

Il monitoraggio delle deformazioni del versante ha portato alla luce uno stile deformativo variabile da zona a zona. Partendo dalle indicazioni fornite dal monitoraggio e puntando verso tecniche di consolidamento che privilegiassero lo smaltimento degli eccessi di pressioni interstiziali, identificati come i principali meccanismi di innesco negli strati più superficiali, si è optato per interventi a basso impatto ambientale, con l'intento di restituire un equilibrio il più possibile naturale all'area in frana.

Le opere eseguite non sono state limitate al corpo di frana vero e proprio, ma hanno anche riguardato aree adiacenti del versante, ed in particolare i bacini limitrofi (Rio Ca' di Minghetto e fossi adiacenti) interessati anch'essi da piccoli fenomeni di instabilità.

Gli interventi sul corpo di frana sono schematicamente rappresentati in figura 8, mentre nella foto di figura 9 sono indicate le opere eseguite sull'intero versante.

La riprofilatura del versante in frana è una delle condizioni primarie da rispettare per il consolidamento di materiali alterati. Lo scopo è innanzitutto quello di portare il versante a pendenze compatibili con le caratteristiche meccaniche dei terreni che lo compongono.

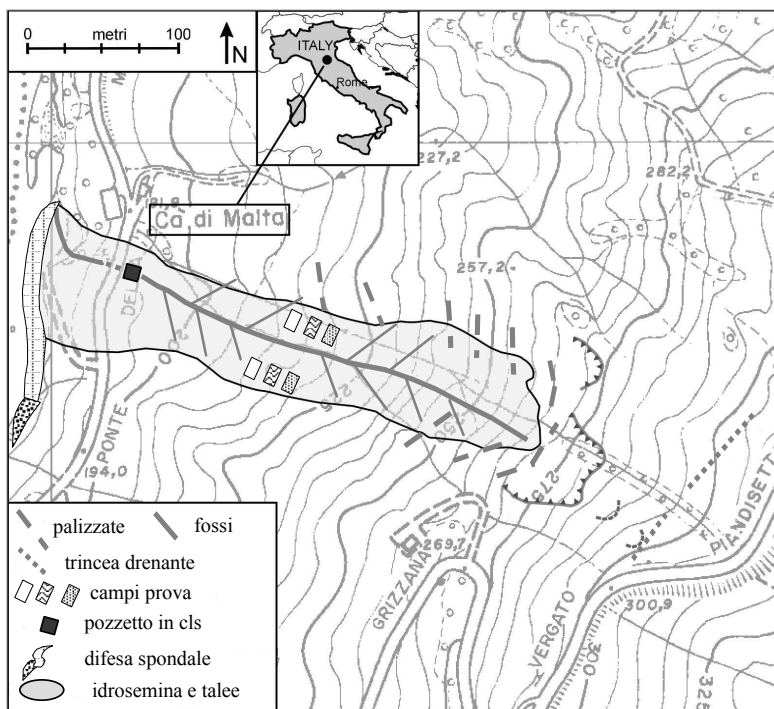


Fig. 8 – Localizzazione degli interventi sul corpo di frana

Fig. 8 – Location of interventions carried out on the landslide body

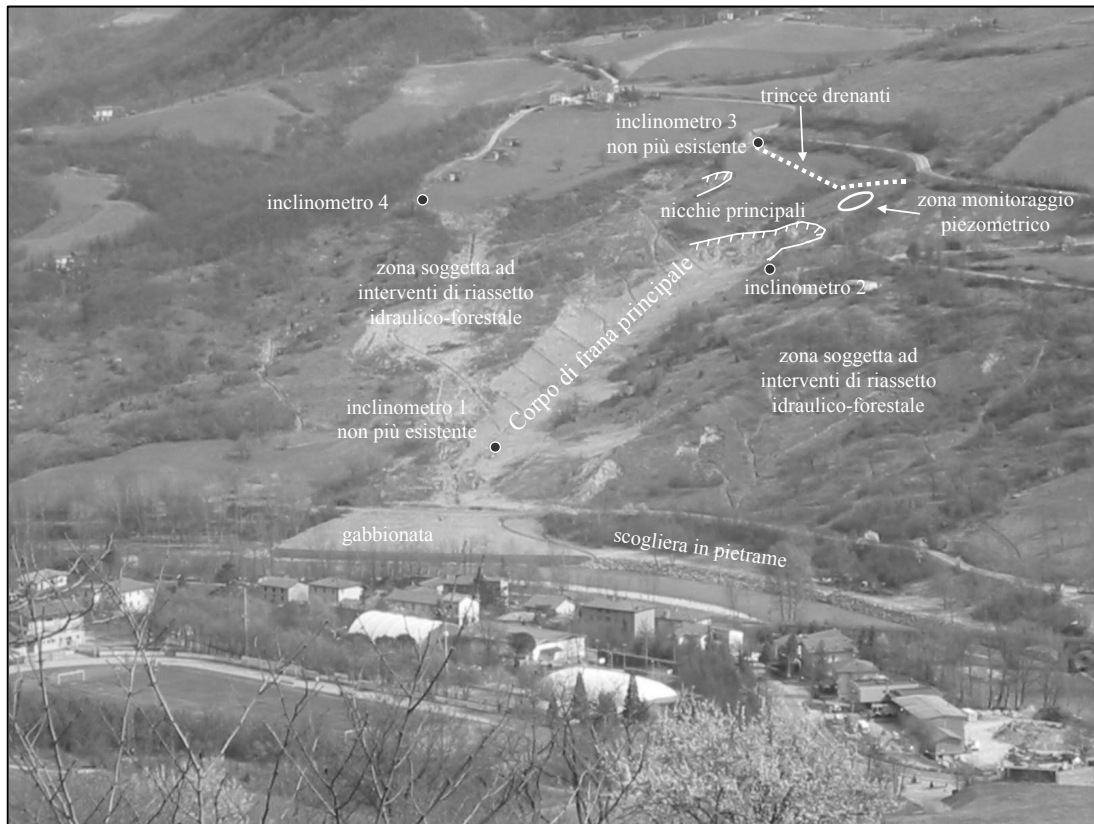


Fig. 9 – Localizzazione delle zone di intervento sull'intero versante
 Fig. 9 – Location of the intervention areas on the whole slope

A tale scopo si è provveduto a regolarizzare il pendio, eliminando i dossi e gli avvallamenti causati dalle varie riattivazioni del movimento franoso, che provocavano in alcune aree la formazioni di ristagni di acqua.

5.1 Drenaggio

Le tecniche di drenaggio impiegate hanno previsto la realizzazione di alcune trincee drenanti a monte della nicchia di frana. I drenaggi realizzati avevano l'intento di captare l'acqua infiltrata e di allontanarla dal corpo e dalla nicchia di frana. Essi sono stati realizzati utilizzando pietrame (pezzatura 40-70 mm) protetto dall'intasamento tramite geotessuto. La base dello scavo è stata rivestita con membrana impermeabile su cui è stato appoggiato un tubo finestrato da drenaggio, per favorire il rapido allontanamento delle acque raccolte.

Oltre a ciò, le scelte progettuali si sono orientate verso la creazione di una fitta rete drenante superficiale costituita da fossi collettori principali e da fossi secondari (disposti a lisca di pesce) di diverse dimensioni. Le indicazioni generali sulla realizzazione di questo tipo di interventi non sempre si adattano al caso in esame. In questo caso, infatti, i fossi realizzati in precedenza da altri Enti erano in pessime condizioni ed incapaci di svolgere la loro funzione. Per la frana di Ca' di Malta è stato pertanto necessario modificare l'interasse delle aste drenanti, specialmente in una zona in

cui si è riscontrata la costante presenza di acqua vicino alla superficie, probabilmente guidata da discontinuità strutturali.

5.2 Difesa spondale

Al piede della frana in destra idraulica era già presente una difesa spondale in gabbioni, che risultò danneggiata dalla riattivazione della frana nel 1994. È stata pertanto ripristinata la difesa spondale mediante la realizzazione di una scogliera in massi ciclopici e di una gabbionata. Tali strutture hanno lo scopo di difendere il piede della frana dall'erosione del F. Reno, evitando quindi riattivazioni del movimento franoso causate dalla mancanza di sostegno alla base del versante.

5.3 Sistemazioni idraulico-forestali

Intervenendo sulla pendenza mediante la creazione di piccole rotture alla continuità del versante, ottenute con la realizzazione manuale di palizzate, graticciate, cordonate, e realizzate a scacchiera ove la pendenza in genere si mantiene più accentuata, si favorisce uno spontaneo e più durevole insediamento di specie pioniere, che spesso rappresentano il primo passo verso una più omogenea copertura del suolo. Il progetto, in alcuni settori, ha previsto di integrare lo sviluppo vegetativo naturale con l'idrosemia, in particolare in corrispondenza delle zone soggette a rimodellamento superficiale ove la cortica erbosa

viene completamente distrutta dal lavoro dei mezzi meccanici.

La realizzazione di brigliette in legno di castagno e pietrame reperito in loco lungo i tratti più pendenti dei collettori principali è una tecnica di consolidamento rivelatasi alquanto efficace, soprattutto per ridurre i costi di manutenzione dei fossi realizzati lungo i corpi di frana, ed in particolare sugli impluvi principali, localizzati lungo le linee di massima pendenza, ove l'acclività supera quasi sempre il 20%. Il contenimento dell'azione erosiva e del trasporto solido contribuisce a mantenere più a lungo la sezione del fosso in buone condizioni, evitandone il deterioramento e la perdita di funzionalità. Un collettore "sistemato" con brigliette in legno e soglie in massi poste in sequenza adottando particolari accorgimenti che ne evitano l'aggrimento, lo svuotamento o lo scalzamento da parte dell'acqua nei periodi di maggiore portata, indubbiamente comporta dei costi maggiori di realizzazione, ma si caratterizza per una più elevata resistenza all'usura.

L'utilizzo di tecniche che prevedono l'impiego di materiale vegetale vivo (arbusti e talee) accompagnato da opere strutturali in pali di castagno e pietrame, garantisce inoltre un buon assorbimento dell'acqua presente negli strati superficiali del suolo.

L'idrosemina è stata realizzata al fine di favorire l'insediamento della cotica erbosa sulle scarpate e nelle porzioni di terreno nudo rimodellato, al fine di garantire un'immediata protezione dall'erosione superficiale ad opera di agenti meteorici (pioggia, vento) ed in attesa di un graduale insediamento di specie spontanee.

Relativamente alle specie previste è stato impiegato un miscuglio di graminacee e leguminose, ritenuto idonee a colonizzare terreni acclivi di natura argillosa (Fig. 10).

Per verificare con maggiore dettaglio la risposta dell'intervento in condizioni stazionali particolarmente difficili, si è inoltre effettuata la realizzazione di sei aree sperimentali permanenti di superficie unitaria di 40 m² in cui sono state effettuate:

- idrosemina;
- semina a spaglio;
- testimone (nessun intervento);
- erpicatura e idrosemina;
- erpicatura e semina;
- erpicatura e testimone (nessun intervento).

I fossi di scolo realizzati per la regimazione superficiale sono stati inoltre presidiati con la posa di piante lungo gli arginelli con il fine di favorire il consolidamento della sezione mediante l'azione meccanica dell'apparato radicale e migliorare l'assorbimento idrico ed il drenaggio continuo dell'acqua presente negli strati interni del terreno.

Sono state utilizzate le seguenti soluzioni:

- astoni di salice (*Salix purpureae*, *Salix alba*) idonei alle caratteristiche della stazione;
- arbusti a radice nuda di almeno due anni di semenzaio (*Fraxinus ornus*, *Spartium junceum*, *Rosa canina*, *Prunus spinosa*, *Pyrus piraster*, *Cornus sanguinea*).

Le palizzate assicurano un buon sostegno meccanico e sono state realizzate alla base delle scarpate sulla porzione apicale del corpo di frana ed in prossimità di dossi e aree acclivi. I terrazzamenti comunque rinverditi anche artificialmente, favoriscono il reinsediamento della vegetazione spontanea. Sono realizzati con la posa longitudinale e trasversale di pali di castagno che ne costituiscono la struttura portante e la messa a dimora di talee e arbusti, che svolgeranno col tempo la fondamentale funzione di consolidare il pendio (talee di *Salix purpurea* e

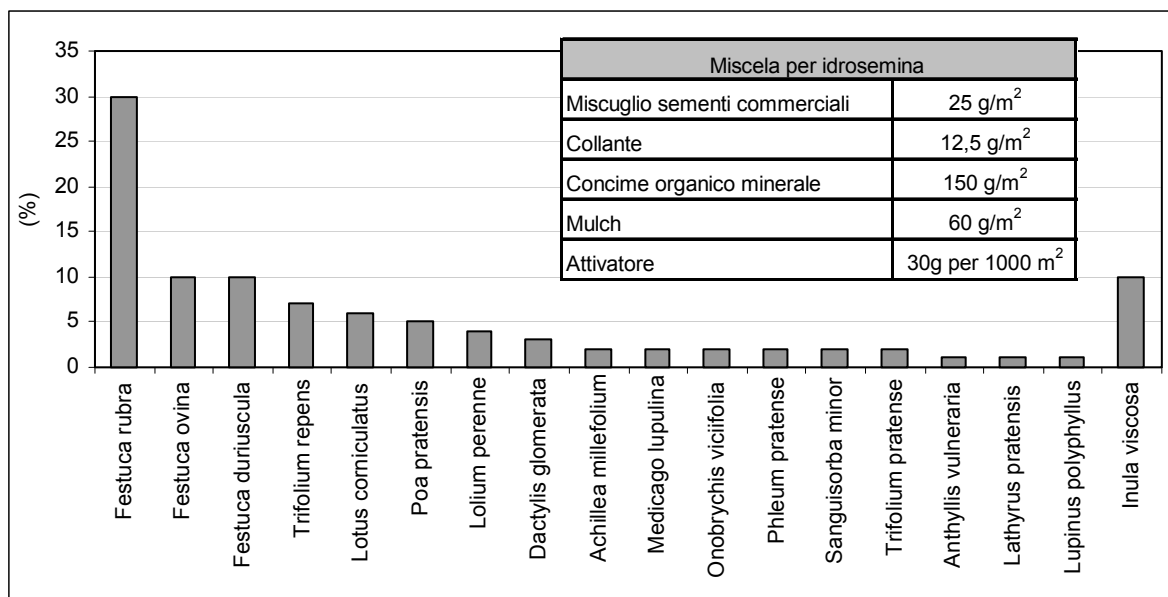


Fig. 10 – Composizione del miscuglio di sementi e della miscela utilizzata per l'idrosemina
 Fig. 10 – Composition of the mix of seeds scattered by means of water-seeding technique

di *Salix alba*, *Spartium junceum*, *Rosa canina*, *Prunus spinosa*, *Ligustrum vulgare*, *Pyrus piraster*, *Cornus sanguinea*, *Fraxinus ornus*, *Acer campestre*).

Le cordonate vive con piloti, realizzate parallelamente alle palizzate, svolgono la medesima funzione e sono rinverdite con le medesime specie.

Lungo i fossi e i rii già esistenti nelle aree adiacenti alla colata, ostruiti da vegetazione arbustiva ed arborea e da altro materiale vario (rifiuti, massi ecc.) di varie dimensioni all'interno della sezione di deflusso, sono stati realizzati interventi di manutenzione straordinaria finalizzati al ripristino di corrette ed efficienti condizioni di deflusso idrico consistenti in:

- taglio della vegetazione arborea ed arbustiva presente in alveo e sulla parte inferiore delle scarpate interne;
- asportazione e riassetto manuale di materiale lapideo di modeste dimensioni;
- risezionamenti puntuali e asportazione di materiale di medie dimensioni;
- interventi localizzati di ripristino delle opere (briglie, canalette) in cemento armato, realizzate circa 50 anni fa e mai oggetto di manutenzione, consistenti in stuccature e rinforzi;
- realizzazione di tre briglie in legname e pietrame nella porzione più a valle del fosso, tuttora priva di sistemazioni idrauliche, finalizzate a contenere lo scavo di fondo del torrente, che innesca instabilità sulle scarpate sovrastanti.

5.4 *Primi risultati delle sistemazioni idraulico-forestali*

A circa due anni dagli interventi di messa a dimora delle prime piantine radicate e delle talee e a poco più di una stagione vegetativa dall'idrosemina, realizzata nella primavera del 2003, è possibile evidenziare che l'attecchimento e la sopravvivenza delle piantine è stato in generale buono con risultati superiori alle aspettative (oltre il 65% del materiale risulta in discreto stato vegetativo, in particolare orniello, acero campestre, sanguinello, perastro). Ginestra, ligustro e olivello spinoso hanno avuto maggiori problemi di attecchimento e più elevata mortalità successiva causata da fattori concomitanti tra cui: danni da morso di ungulati, gelate tardive, siccità. In generale l'attecchimento delle talee lungo i fossi è risultato buono e mediamente attorno al 75-85% del materiale impiegato. In questo caso la mortalità è da imputarsi in parte a tecniche non appropriate di impianto o a smottamenti localizzati delle scarpate dei fossi che hanno danneggiato l'apparato radicale.

L'idrosemina sulla superficie del corpo di frana, realizzata per motivi tecnici di cantiere soltanto nella tarda primavera del 2003, ha manifestato notevoli difficoltà di attecchimento iniziale, con una discreta ripresa vegetativa ad un anno dalla sua realizzazione. Ciò evidenzia le difficili condizioni stagionali, sia per fattori pedologici sia microclimatici e per l'erosione superficiale comunque presente sull'area e probabilmente anche per il momento non ottimale di impianto.

A distanza di un anno dall'intervento la superficie rinverdita può essere stimata attorno al 60-65% di quella

oggetto di intervento, con distribuzione della copertura erbacea fortemente disomogenea e concentrata lungo i fossetti, i solchi e nelle aree più ombreggiate ed umide. Nelle sei aree sperimentali permanenti al momento non si notano differenze apprezzabili sia sulla percentuale di copertura che sulla presenza/assenza di particolari specie rispetto ad altre. Nell'ambito del miscuglio impiegato le graminacee sembrano in netta prevalenza rispetto alle leguminose.

Nel complesso le sistemazioni idraulico-forestali (brigliette in legname, in massi e briglie in legname e pietrame, palizzate) dopo due anni dalla loro realizzazione risultano in discreto stato conservativo (solo il 7% necessita di localizzati interventi di manutenzione straordinaria per scalamanti, aggiramenti, sifonamenti) e svolgono in modo soddisfacente la funzione di presidio strutturale all'azione di erosione di fondo e spondale lungo i fossi e il Rio Ca' di Minghetto.

6 Conclusioni

Da quanto emerso dagli studi effettuati sulla frana di Ca' di Malta appare chiaro che il principale meccanismo di innesco sia correlato a picchi delle pressioni interstiziali negli strati argillosi più alterati di superficie. La presenza di vie preferenziali di circolazione idrica di difficile identificazione ha guidato i progettisti dell'STBR verso tecniche di consolidamento a basso impatto che hanno il principale compito di ridurre gli eccessi di pressioni neutre, sia mediante un assorbimento continuo ad opera di vegetazione erbacea ed arbustiva di tipo pioniera, sia attraverso un'opera di smaltimento idrico superficiale disegnata per poter ridurre al minimo la quantità di infiltrazione dalla superficie (identificato come meccanismo motore preponderante sul movimento dei materiali in frana).

Le trincee drenanti si sono infatti dimostrate meno efficaci rispetto agli interventi di regimazione idraulica superficiale, come dimostrato dalle esigue portate all'uscita delle trincee anche durante eventi meteorici di notevole intensità.

Per quanto riguarda la copertura vegetale pioniera, oltre alla funzione drenante, essa svolge funzione antierosiva e favorisce i processi pedogenetici creando le condizioni per il successivo graduale ingresso di altre specie maggiormente esigenti.

L'impiego dei sistemi di consolidamento adottati consente di ridurre al minimo la velocità di propagazione di frana (ipotizzare di arrestare completamente i movimenti del versante argilloso sarebbe, alla luce dei risultati ottenuti dal monitoraggio degli spostamenti, fallimentare fin dal principio), posticipando enormemente la crisi del versante e delle infrastrutture ad esso connesse. Va tuttavia precisato, ancora una volta, che anche le tecniche di consolidamento, e a maggior ragione quelle che afferiscono al gruppo dell'"ingegneria naturalistica", necessitano di un impegno regolare nell'opera di manutenzione, senza il quale si

rischia di rendere vano il lavoro svolto. Lo stanziamento dei finanziamenti per il consolidamento dei versanti dovrebbe tener conto di questo aspetto programmatico relativo ad alcune particolari frane, quali quelle in argilloscisti, cercando di garantire una prolungata efficacia del lavoro di stabilizzazione (o mitigazione dei rischi). Se è per tutti un dato di fatto che un'opera di ingegneria, qualunque essa sia (strada, ponte, edificio, diga, ecc.), necessita di più livelli

manutentivi (ordinario e straordinario), dovrebbe diventare una regola anche la previsione di appositi stanziamenti per la manutenzione delle opere di consolidamento. In tal senso il Fascicolo Tecnico, previsto dalla L. 494/1996 e s.m.i., potrebbe essere un'utile strumento per guidare ed organizzare tali programmi manutentivi, permettendo la formazione di una scala di priorità fra i vari interventi da eseguire.

Bibliografia

- Archivio di Stato di Bologna, 1914. Frane varie, alluvioni e piene. Miscellanea. Documentazione anno 1914, Fondo Genio Civile, busta n. 795.
- Autorità di Bacino del Reno, 1998. Analisi storica delle frane nel bacino del fiume Reno (sec. XV-1996). A cura di F. Brunamonte, Torino. [Http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/sito_abr/varie/Frane_sto/Frane.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/sito_abr/varie/Frane_sto/Frane.htm) (Agosto 2007).
- Bennet H.H., 1939. Elements of Soil Conservation. 2nd edition, McGraw-Hill, New York.
- Bernardi A., Cavazza C., Mazzini E., 2007. Un caso di consolidamento di versante in frana in area a forte sensibilità ambientale: Montecuto delle Alpi (Comune di Lizzano in Belvedere, Prov. Di Bologna), in questo volume.
- Berti M., Simoni A., Generali M., Elmi C., Ghirotti M., 2003. Monitoraggio delle pressioni dei pori in un versante argilloso. Primo Congresso Nazionale AIGA, Chieti, febbraio 2003, 83-90.
- 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, T.R.B., National Research Council, 3, 36-75, Washington, D.C.
- Evangelista A., 1997. Strutture di sostegno di pendii instabili. In: Interventi di Stabilizzazione dei pendii, CISM Ed., 325-385.
- Ghirotti M., Berti M., Simoni A., 2004. Relazione contenente i risultati del monitoraggio delle condizioni idrauliche nell'area di nicchia. Convenzione tra DSTGA Alma Mater Università di Bologna e STBR, Regione Emilia-Romagna, Prot. RER/AMB n. 0056874 del 16/07/04, 13 pp.
- Mora P., Baldi P., Casula G., Fabris M., Ghirotti M., Mazzini E., Pesci A., 2003. Global Positioning Systems and digital photogrammetry for the monitoring of mass movements: application to the Ca' di Malta landslide (northern Apennines, Italy), Engineering Geology, 68, 103-121.
- Pavari A., 1916. Classificazione fitoclimatica d'Italia. Annali del Regio Istituto Superiore Forestale Nazionale, 1.
- Pini G.A., 1999. Tectonosomes and Olistostromes in the Argille Scagliose of the Northern Apennines, Italy. Geological Society of America, Special Paper, 335, 73 pp.
- Pellegrino A., 1997. Aspetti generali del progetto e dei controlli. In: Interventi di Stabilizzazione dei pendii, CISM Ed., 297-323.
- Regione Emilia-Romagna, 1994. Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna in scala 1:10.000, Sezione n. 237100.
- Simoni A., Berti M., Generali M., Elmi C., Ghirotti M., 2004. Preliminary result from pore pressure monitoring on an unstable clay slope. Engineering Geology, 73, 117-128.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion. A guide to conservation planning. USDA-ARS Agriculture Handbook.