

# Un caso di consolidamento di versante in frana in area a forte sensibilità ambientale: Montecauto delle Alpi (Comune di Lizzano in Belvedere, Provincia di Bologna)<sup>1</sup>

Anna Rita Bernardi, Claudio Cavazza, Enrico Mazzini

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

*A case of slope stabilisation in a high environmental sensitivity area: Montecauto delle Alpi (Lizzano in Belvedere, Bologna province, Italy)*

**ABSTRACT.** Very often parks and protected areas may represent a sort of complication for carrying out works of general utility. These limitations force Public Administrations to plan and implement more sustainable interventions on the landscape by means of a multidisciplinary approach. This contribution describes slope stabilisation works that combine structural design with traditional measures like piers, anchored walls and reinforced concrete, with environmental countermeasures aimed to the reduction of the impact from the aesthetic viewpoint. These countermeasures have been carried out with reinforced soils and vegetation implants by applying bio-engineering techniques, since the working site is located in the Corno alle Scale pre-Park area (Bologna Apennines, Italy). All the phases of disarray processes affecting the slope have been described and the geological and geotechnical survey, and consolidation measures have been discussed, pinpointing the unusual slope stabilisation works implemented and the good results so far obtained. This landslide is considered a very high risk mass movement by the River Reno Basin Authority because of the high value of the exposed elements (only one road connects the villages of Montecauto delle Alpi and Pianaccio to the main transport infrastructures). According to Cruden & Varnes (1996), the landslide can be classified as a reactivated debris slide. The choice of these particular consolidation techniques was carefully evaluated by taking into account the geological and structural setting of the area. Three main hypotheses were considered, eventually choosing the one that produced the highest factor of safety at the same degree of difficulty of implementation. In fact, the working site was not easily accessible by standard working vehicles. In the final part of this article some considerations about bio-engineering interventions are discussed, showing the vegetation selection criteria adopted and illustrating the environmental appraisal of the slope. The choice among pioneer vegetation species has guided the first implants. The continuous environmental monitoring has permitted the acquisition of important experience for future similar works.

**Key terms:** Debris slide, Structural consolidation, Bioengineering, Reinforced soils

**Termini chiave:** Scivolamento di detrito, Consolidamento strutturale, Ingegneria naturalistica, Terre rinforzate

## Riassunto

Le aree tutelate dal punto di vista paesaggistico rappresentano spesso un vincolo ostativo molto forte per la realizzazione di opere di pubblica utilità, tuttavia l'approccio alla progettazione multidisciplinare a cui gli stessi vincoli spingono la Pubblica Amministrazione costituisce uno stimolo alla realizzazione di interventi più sostenibili dal punto di vista paesaggistico. La presente nota descrive un'opera di stabilizzazione di pendio che coniuga l'esigenza di un consolidamento strutturale classico con pali, tirature ed opere di sostegno in cemento armato, con una serie di contromisure a vocazione paesaggistico-ambientale costituite da mascheramenti in terre rinforzate e

da impianti vegetazionali per l'inserimento dei lavori nell'area di pre-Parco del Corno alle Scale. Vengono descritte le fasi di attività della frana, le indagini conoscitive, l'approccio progettuale alla sistemazione della frana, illustrando una tipologia di intervento non usuale nei lavori di Genio Civile, che trova ampio consenso per i buoni risultati raggiunti.

## Introduzione

La forte sensibilità ambientale di alcune aree tutelate dal punto di vista paesaggistico impone spesso agli Enti preposti alla difesa del suolo – attuatori di interventi mirati alla mitigazione del rischio connesso ai fenomeni di

<sup>1</sup> Lavori eseguiti con finanziamento L. 267/98 del 3 agosto 1998 – Programma degli interventi per l'anno 1998

instabilità dei versanti – vincoli operativi che hanno un peso determinante sia sulle scelte progettuali sia sulle modalità di realizzazione delle stesse. Per contro, gli stessi vincoli paesaggistici hanno il pregio di guidare le tecniche di consolidamento verso soluzioni progettuali tecnologicamente avanzate e sempre più mirate ad ottenere un forte grado di compatibilità ambientale. La riscoperta di tecniche di ingegneria naturalistica ha fortemente aiutato questa tendenza all'eco-sostenibilità dei progetti di consolidamento dei versanti in frana (ANPA, 2001); tuttavia, i limiti di applicabilità di tali tecniche "bio-ingegneristiche" impongono, in alcuni casi, una loro mediazione con interventi strutturali di tipo tradizionale. Nel caso in esame si è adottata una soluzione progettuale che ha cercato di armonizzare la stabilizzazione definitiva di un pendio in frana con l'inserimento di opere di consolidamento strutturale tradizionali in un contesto ambientale di grande pregio, riducendo al massimo l'impatto sull'ecosistema locale.

L'intervento di sistemazione del movimento franoso, che durante l'inverno del 2000 ha interrotto l'unica strada di accesso alle frazioni di Montecatino delle Alpi e Pianaccio, in Comune di Lizzano in Belvedere, in Provincia di Bologna (Fig. 1), rappresenta, inoltre, un esempio di progettazione interdisciplinare e coordinata, per i seguenti motivi:



Fig. 1 – Inquadramento geografico dell'area di studio (scala 1:25.000)

Fig. 1 – *Geographic setting of the study area (1:25,000 scale)*

- complessità dell'intervento, determinata dalle difficili condizioni stagionali dell'area oggetto del dissesto (forte pendenza, scarsa accessibilità, limitato spazio, condizioni climatiche particolarmente rigide) e dalla tipologia stessa del movimento franoso, connessa alle caratteristiche geomorfologiche del sito (frana a rapida evoluzione, pericolo di erosione al piede e di esondazione);

- caratteristiche ambientali e paesaggistiche: il territorio è compreso nella zona di pre-parco forestale del territorio del Parco Regionale del Corno alle Scale, Sito di Interesse Comunitario ai sensi della Direttiva Habitat (92/43/CEE) in un contesto di notevole pregio naturalistico e paesaggistico, oggetto di notevole fruizione turistica estiva ed invernale;
- necessità, per motivi di protezione civile, di individuare e realizzare, in tempi ristretti, soluzioni progettuali che garantissero condizioni di sicurezza efficaci e durature, visto che il movimento franoso era già stato oggetto in anni passati di interventi non risolutivi.

Il materiale coinvolto nel franamento era quantificabile in poche centinaia di metri cubi ma, dato il valore degli elementi esposti e l'elevata velocità di evoluzione, la frana è stata inserita nel Piano Straordinario delle Aree a Rischio Idrogeologico Molto Elevato (Autorità di Bacino Del Reno, 1998a). L'intervento di consolidamento è stato pertanto finanziato nell'ambito del programma di interventi urgenti per la riduzione del rischio idrogeologico (Legge 267/1998).

Sia il progetto che la realizzazione dei lavori, sono stati gestiti da un'équipe tecnica multidisciplinare del Servizio Tecnico Bacino Reno della Regione Emilia-Romagna.

## Cronistoria

La particolare propensione al dissesto dell'alta valle del Torrente Silla, affluente in sinistra del Fiume Reno, è testimoniata dai numerosi eventi che hanno riguardato la strada che congiunge Lizzano in Belvedere a Pianaccio e Montecatino delle Alpi. Tali episodi ne hanno limitato, o totalmente impedito, la viabilità in vari punti, anche per prolungati periodi di tempo. Si ricordano infatti gli eventi del 1939 (29 mag.–2 giu.), 1952 (18 ott.), 1956 (17 nov.), 1957 (10 gen.), 1959 (18 nov.), 1982 (10 nov.–1 dic.), 1990 (feb.–5 apr.) 1994 (10 nov.) e 2000. Più in particolare, al sito dell'area di progetto sono ascrivibili gli eventi del 1982, del 1994 e del 2000 (Autorità di Bacino del Reno, 1998b).

A seguito del dissesto del 1982 si è provveduto ad una parziale opera di consolidamento mediante una difesa spondale (muro in c.a.) che aveva la duplice funzione di sostenere il versante ed impedire l'erosione laterale da parte delle piene del T. Silla. Tale opera si è rivelata insufficiente, date le sue limitate dimensioni rapportate all'entità del dissesto, e non ha impedito il successivo parziale franamento del 1994. A seguito di tale evento, è stata predisposta una indagine geognostica finalizzata ad un più consistente progetto di consolidamento. In base ai dati ottenuti si è proceduto all'impostazione del progetto preliminare di sistemazione che ha ottenuto il finanziamento nell'ambito del programma dei lavori (L. 267/1998 – annualità 1998).

Nel marzo 2000, poche settimane prima del completamento del progetto esecutivo, tuttavia, un improvviso franamento ha interrotto completamente la strada, obbligando i progettisti alla predisposizione di opere provvisorie di supporto alla viabilità (ponte Bailey) per

ripristinare il collegamento con gli abitati, e alla successiva ridefinizione del progetto, che comunque non ha subito modifiche sostanziali rispetto alle impostazioni iniziali.

### Caratteristiche geologico-geomorfologiche del sito

La zona appare morfologicamente influenzata dalla dinamica fluviale del T. Silla e dai processi erosivi legati alla natura del substrato, particolarmente instabile nel caso di assenza di copertura arborea od arbustiva. Il torrente, nonostante la presenza di manufatti artificiali trasversali e longitudinali, provoca processi di scalzamento al piede delle sponde che si accentuano notevolmente nei tratti in curva, come quello in oggetto.

L'area è caratterizzata dalla presenza di arenarie torbiditiche riferibili alla Formazione di Castiglione dei Pepoli (Miocene), rappresentata qui dai due membri inferiori: CDP2 e CDP3; rispettivamente Arenaceo-Pelitico e Arenaceo. Si tratta di torbiditi arenaceo-pelitiche, di colore grigio, in strati da sottili a molto spessi, che verso

l'alto passano a marne grigiastre in intervalli spessi qualche decimetro, con rapporto arenarie/peliti variabile, generalmente maggiore di 1. La potenza geometrica parziale arriva a circa 400 m e il contatto inferiore non è affiorante nell'area (Regione Emilia-Romagna, 2005).

I versanti sono stati modellati dall'erosione fluviale e meteorica, con un evidente controllo strutturale delle forme e del reticolo idrografico; i pendii sono prevalentemente ripidi e regolari, incisi con frequenza costante da canali di I° ordine che scolano direttamente nell'asta principale del T. Silla.

Le rocce sono talora ricoperte da depositi di versante messi in posto per ruscellamento e gravità. I dissesti presenti nella zona sono legati alla degradazione degli ammassi rocciosi, già intensamente fratturati per il loro assetto tettonico-strutturale, e alla conseguente destabilizzazione – in parte per azioni antropiche – delle coltri detritiche di ricoprimento.

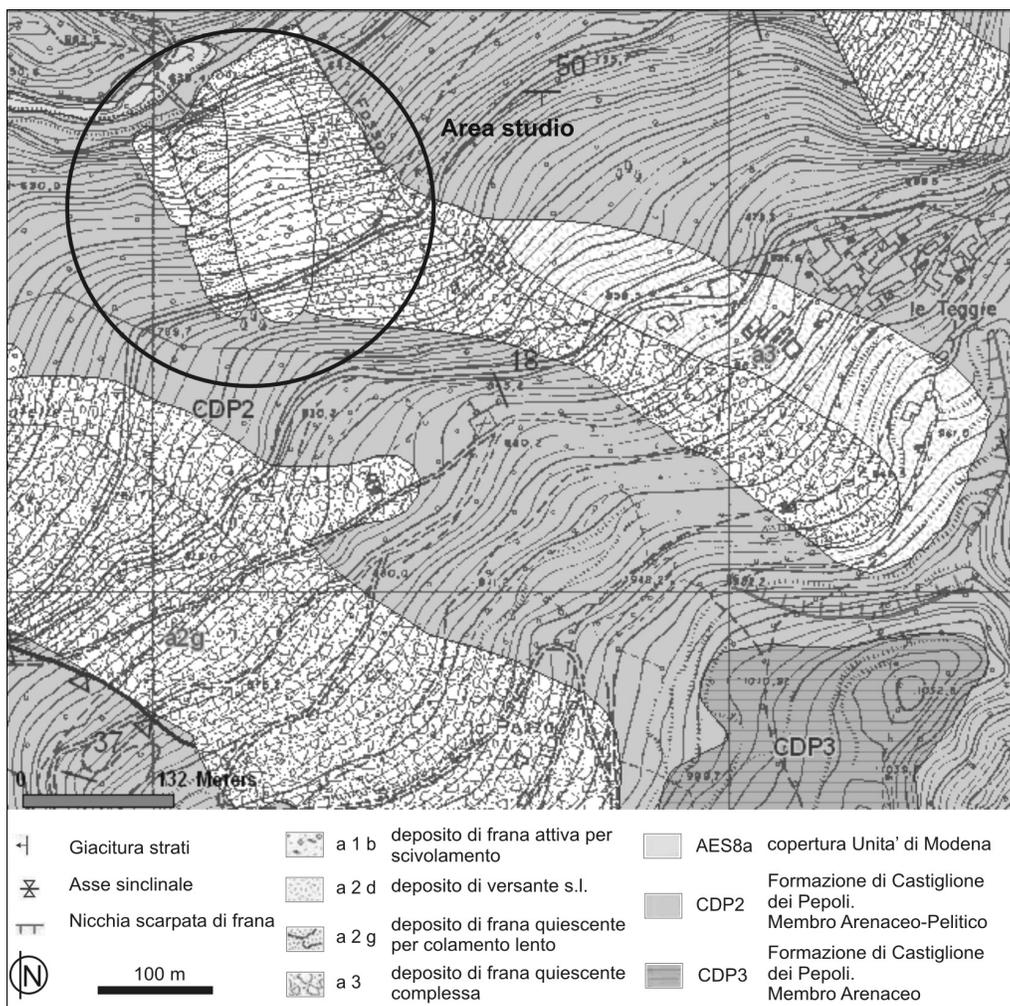


Fig. 2 – Carta geologica dell'area di progetto (Sezione n. 251070 della Carta geologica della Regione Emilia-Romagna)

Fig. 2 – Geological map of the project area (Section no. 251070, after Regione Emilia-Romagna)

Le rocce sono talora ricoperte da depositi di versante messi in posto per ruscellamento e gravità. I dissesti presenti nella zona sono legati alla degradazione degli ammassi rocciosi, già intensamente fratturati per il loro assetto tettonico-strutturale, e alla conseguente destabilizzazione – in parte per azioni antropiche – delle coltri detritiche di ricoprimento.

Nell'area di interesse, l'alveo del T. Silla, confinato dalla presenza di due speroni rocciosi contrapposti, si sviluppa con una doppia ansa. Tra questi è presente una briglia, a monte della quale, prima dell'intervento, l'alveo si presentava in parte sovralluvionato, con cumuli che deviavano la corrente sulla sponda destra, dove è ubicata la frana.

Gli affioramenti di roccia ai lati del dissesto hanno giaciture diverse (N180/50° per l'affioramento di valle, N260/18° per quello di monte), probabilmente a causa della presenza di una discontinuità tettonica lungo l'asse della concavità del pendio. I risultati dei sondaggi a carotaggio continuo e l'interpretazione delle sezioni sismiche hanno evidenziato un'asimmetria negli spessori del detrito compatibile con questa ipotesi.

Dalle foto aeree si individuano l'accumulo e la nicchia di un vecchio movimento franoso in detrito a monte della strada.

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche del movimento franoso in oggetto

Tab. 1 – *Geometric features of the Monteacuto landslide*

**Localizzazione topografica dell'area di studio**

C.T.R. Regione Emilia-Romagna, scala 1:10.000: sezione n. 251070 (Monteacuto delle Alpi)

Coordinate geografiche del corpo di frana: lat. 44°08'27" N; long. 10°53'12" E

Bacino idrografico: Torrente Silla

Sottobacini: Rii senza toponimo

**Morfometria della frana (riattivata ed oggetto del consolidamento)**

- pendenza media:	30° (circa 60%)
della zona di accumulo	20°;
della zona di svuotamento	40-42°
- dislivello:	30 m
- quota del coronamento:	640 m
- quota del piede:	610 m
- lunghezza massima:	25 m
- larghezza massima:	18 m
- profondità massima:	5-6 m
- superficie della frana:	450 m <sup>2</sup>
- volume della frana:	804 m <sup>3</sup>

**Classificazione della frana** (secondo Cruden & Varnes, 1996): Scivolamento rotazionale di detrito (*rotational debris slide*), riattivato.

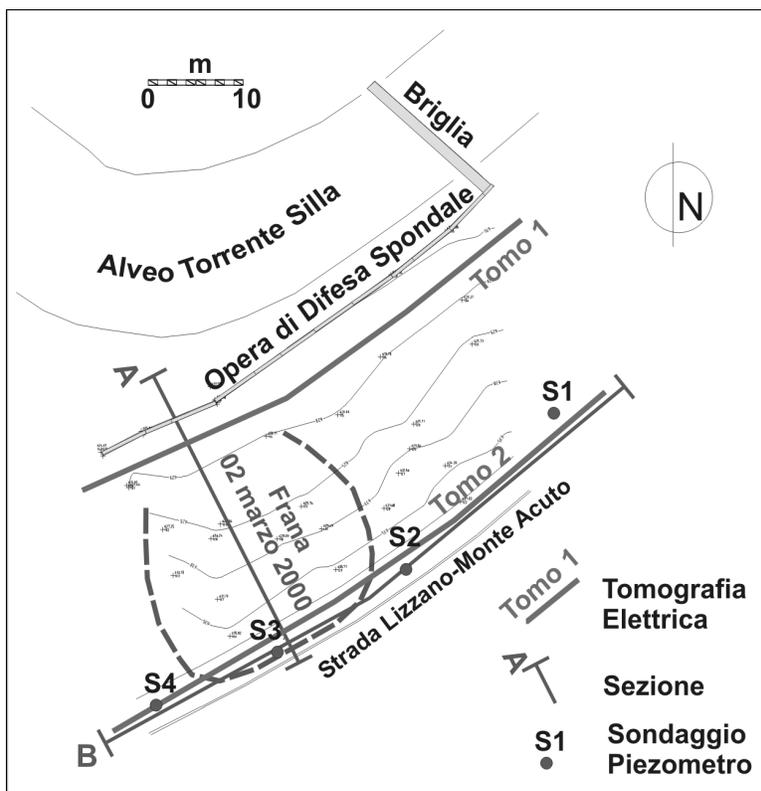


Fig. 3 – Planimetria schematica dell'area di studio con localizzazione delle indagini conoscitive e traccia perimetrale dell'area franata il 2 marzo 2000. Le sezioni A e B vengono riportate in figura 4

Fig. 3 – *Planimetric scheme of the study area with location of boreholes and geophysical prospecting. Sections A and B are shown in Fig. 4*

Tale presenza è avvalorata dalle numerose segnalazioni di franamenti registrati in passato. Questa ricorrenza non è imputabile alla sola azione erosiva del T. Silla al piede del versante, ma anche alle cause predisponenti identificabili principalmente nelle condizioni geologico-strutturali del pendio e all'elevato stato di fratturazione dell'ammasso roccioso.

L'esistenza, inoltre, di un'antica mulattiera sepolta al disotto del tracciato stradale e realizzata con opere di contenimento in pietrame a secco, ha guidato il franamento lungo zone di debolezza strutturale a forte circolazione idrica nel primo sottosuolo.

In ogni caso, il materiale coinvolto nel franamento è rappresentato dalla sola coltre detritica superficiale, appartenente al corpo della vecchia frana, costituito da materiale arenaceo di pezzatura variabile (dai massi alle ghiaie), con spigoli vivi, immerso in una matrice limbo-sabbiosa.

La frana (mobilizzata nel 2000) è classificabile come uno scivolamento di detrito (*debris slide* secondo Cruden & Varnes, 1996), con distribuzione dell'attività multidirezionale. La quota della frana è compresa tra i 640 m s.l.m. del coronamento e i 610 m dell'alveo del T. Silla, l'esposizione prevalente del versante è N-NW e la pendenza media risulta del 60% (Tabella 1).

Negli anni 1993 e 1999 sono stati eseguiti due rilievi topografici dell'intera area in frana. La sovrapposizione di tali rilievi ha permesso di valutare la dinamica evolutiva del versante nell'arco di sei anni.

Il volume eroso è stato stimato in 804 m<sup>3</sup>, quello depositato alla base del versante in 304 m<sup>3</sup>. Si presume che i 500 m<sup>3</sup> di differenza siano finiti nel corso d'acqua e in parte trasportati a valle dal T. Silla.

### Ricostruzione del modello del sottosuolo

Vista la complessità della situazione e la natura estremamente anisotropa e disomogenea del sottosuolo, per ricostruirne il modello si è provveduto alla realizzazione di quattro sondaggi a carotaggio continuo, ubicati lungo la sede stradale (tre dei quali sono stati attrezzati con piezometri a tubo aperto), ed all'esecuzione di una campagna geofisica mediante sismica a rifrazione (Fig. 3).

Al fine di determinare le caratteristiche geotecniche del materiale, si sono utilizzate analisi di laboratorio per la valutazione delle proprietà fisiche della matrice, mentre si è fatto uso delle risultanze di alcune prove penetrometriche dinamiche per la stima delle proprietà meccaniche del deposito.

I sondaggi effettuati e l'indagine geofisica hanno permesso di ricostruire la continuità laterale dei vari litotipi sub-superficiali e di elaborare il modello geologico del sottosuolo (Fig. 4). Si è riscontrato un brusco contatto tra materiali sciolti di superficie e formazione rocciosa del substrato, con andamento concavo e asimmetrico che in corrispondenza del sondaggio 2 raggiunge la massima

profondità di 13,5 m. I profili geofisici hanno evidenziato velocità variabili tra 300 e 400 m/s per il detrito superficiale e 1500 m/s per il substrato roccioso.

Dai controlli effettuati nei piezometri, precedentemente e subito dopo il franamento del 2000, si è riscontrata la presenza di acqua di falda nei piezometri S1 e S2. Data l'elevata permeabilità dei materiali detritici è tuttavia plausibile che in condizioni di elevata piovosità i livelli misurati (localizzati poco al di sopra del contatto tra detrito e substrato roccioso) subiscano temporanei innalzamenti, soprattutto in corrispondenza dei piezometri S2 ed S3 dove lo spessore detritico è più ridotto.

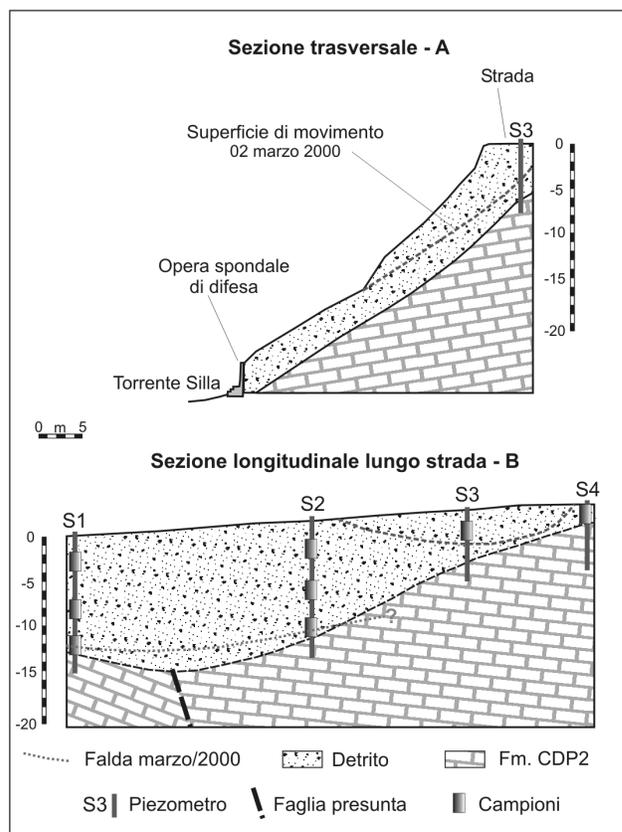


Fig. 4 – Modello geologico del sottosuolo. In “a” la sezione trasversale, in “b” quella longitudinale, la cui traccia coincide con l'asse stradale

Fig. 4 – *Subsurface geological model showing sections A and B traced in Fig. 3*

Le prove di laboratorio hanno evidenziato (Fig. 5) che il detrito superficiale è costituito da materiali inorganici a bassa e media plasticità. La percentuale di passante al setaccio 200 è bassa e le caratteristiche granulometriche mostrano una notevole eterogeneità del materiale anche a piccola scala.

La presenza, anche se ridotta, di materiale fine ha permesso di stimare una coesione minima da utilizzare nella costruzione del modello di calcolo per le verifiche di stabilità del versante.

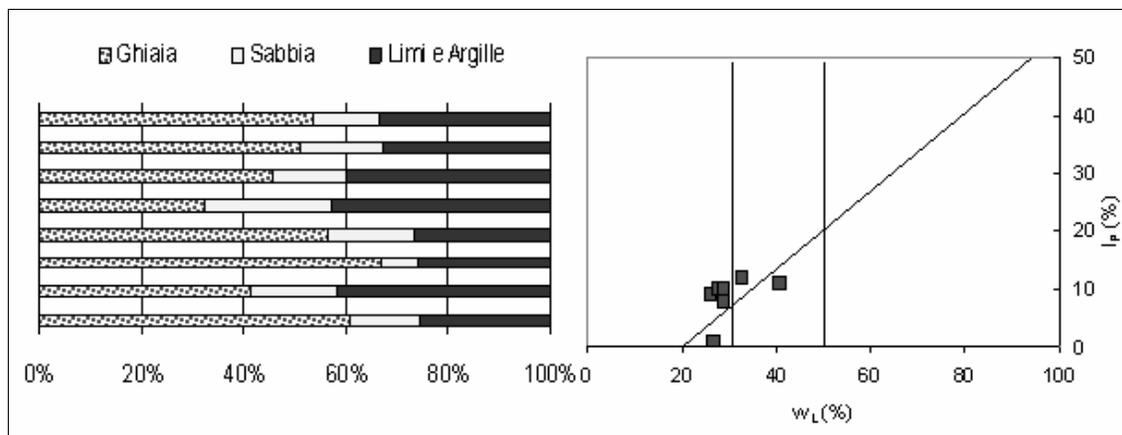


Fig. 5 - Caratteristiche litologiche dei campioni prelevati nella coltre detritica: percentuali granulometriche e carta della plasticità  
 Fig. 5 – Lithological characteristics of samples collected from the debris cover: grain-size percentages and plasticity chart

### Verifiche di stabilità del versante

Sia il progetto dell'intervento di emergenza che quello definitivo hanno richiesto l'esecuzione di una serie di verifiche di stabilità del versante. Le verifiche sono state effettuate considerando le condizioni presenti prima degli interventi mediante un'analisi a ritroso (mediante il software I.L.A., Geo&Soft), per ricavare i valori di resistenza del detrito da applicare in condizioni di esercizio delle opere, per valutare l'efficacia delle diverse soluzioni progettuali e per il dimensionamento delle opere stesse.

Le verifiche sullo stato precedente ai lavori hanno messo in luce una situazione di stabilità critica per la porzione superiore del versante; quella che, pur essendo solo marginalmente interessata dagli effetti delle variazioni del carico piezometrico (anche perché la falda non supera di molto i potenziali piani di scivolamento), risente maggiormente dei sovraccarichi stradali. Il fattore di sicurezza varia da 1 a 1,3 se i sovraccarichi non oltrepassano 100 kPa, mentre scende sotto l'unità per sovraccarichi superiori a 200 kPa (Fig. 6), avvalorando pertanto il progressivo deterioramento indotto dal passaggio di mezzi pesanti sul tratto stradale, che qui presentava una strettoia, indicato come fattore innescante del movimento franoso.

Dalle verifiche effettuate è stato possibile ricavare i valori di progetto per angolo di attrito e coesione pari rispettivamente a  $40^\circ$  e 5 kPa. Il substrato è stato preso in considerazione solamente per l'attrito al contatto formazionale ma, non essendo stato coinvolto nei movimenti, è stato assunto come altamente resistente.

Le verifiche di progetto sono state condotte partendo dall'ipotesi di utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica (terre rinforzate), realizzate con materiale di riporto trasportato in loco, con caratteristiche litotecniche note a priori, così come per i materiali di rinforzo interposti tra le terre. Le verifiche effettuate in condizioni di esercizio hanno messo in luce che tali opere da sole non erano

sufficienti a garantirne la stabilità a lungo termine come prescritto dal DM 11/03/1988 (verifiche effettuate nell'anno 2000), pertanto si è proceduto alla mediazione tra opere strutturali e opere a verde così come descritto nel seguito.

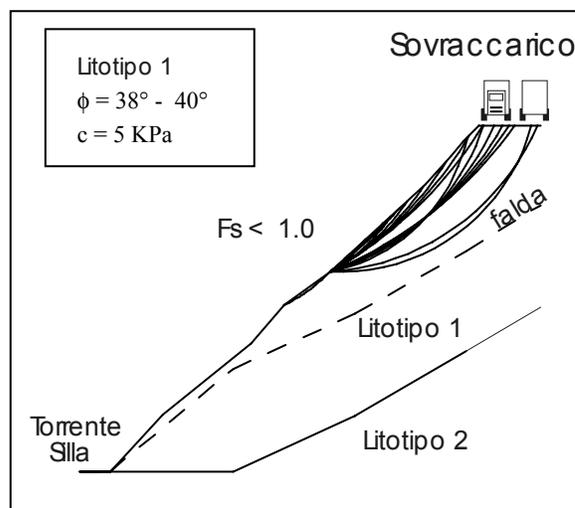


Fig. 6 - Verifiche di stabilità in condizioni precedenti al franamento per sovraccarichi superiori a 200 kPa  
 Fig. 6 – Slope stability analyses prior to landsliding for a total overload exceeding 200 kPa

### Gli interventi di sistemazione del movimento franoso

I presupposti dell'intervento erano vincolati alla completa eliminazione delle cause di innesco della frana ed alla necessità di garantire la stabilità della sede stradale, che doveva essere ripristinata con una larghezza della carreggiata per lo meno pari a quella originaria. La risposta a tale vincolo tecnico poteva essere data con diverse soluzioni progettuali (Fig. 7) che avevano un denominatore comune: la possibilità di rivegetare il versante inserendolo nel paesaggio in un tempo relativamente breve.

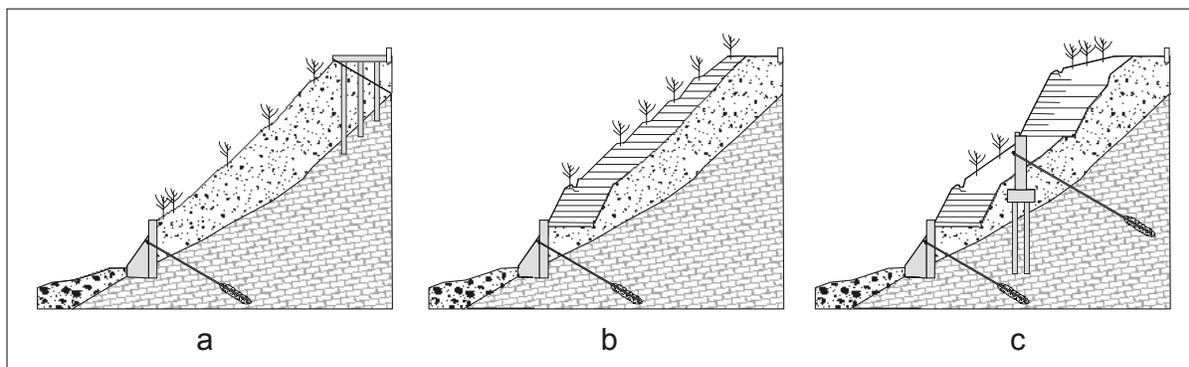


Fig. 7 – Ipotesi progettuali alternative considerate per la stabilizzazione del versante di Monteacuto: a) rinforzo al piede della struttura esistente e strada fondata su pali; b) rinforzo al piede della struttura esistente e stabilizzazione della pendice con terre rinforzate; c) rinforzo al piede della struttura esistente, opera strutturale intermedia e completamento con terre rinforzate di mascheramento

*Fig. 7 – Alternative project hypotheses taken into account for stabilising the Monteacuto slope: a) reinforcement at the foot of the existing structure and road founded on piles; b) reinforcement at the foot of the existing structure and slope stabilisation by means of reinforced soils; c) reinforcement at the foot of the existing structure, intermediate structural work and completion with camouflage reinforced soils*

L'ipotesi "a" (strada supportata da palificata tirantata) oltre a non essere praticabile per ragioni tecniche quali l'eccessivo spessore del detrito (14,5 m tra i sondaggi S1 e S2) e le difficoltà a stabilizzarlo lungo tutto il pendio, presentava un costo proibitivo.

La soluzione "b" (terre rinforzate dalla base del versante sino alla strada), per quanto di buona qualità potesse essere il materiale inserito negli elementi di terra rinforzata, non offriva sufficienti garanzie di stabilità a lungo termine per problemi di equilibrio interno delle stesse terre rinforzate.

Si è pertanto adottata la soluzione "c". Consolidamento strutturale con mascheratura realizzata con opere di ingegneria naturalistica. In questo modo, la stabilità del pendio viene garantita dalla potenza delle opere di contenimento in c.a. e la sostenibilità ambientale viene offerta dal rinverdimento.

Più in dettaglio, l'intervento proposto nello schema di figura 8 si è sviluppato come nel seguito riportato.

Per rinforzare la base del versante si è resa necessaria la ristrutturazione del muro in c.a. già esistente con tirantature, completate con una trave di contenimento. All'esterno del muro è stata appoggiata una massicciata di tamponamento con funzione antierosiva, dimensionata valutando un livello massimo di piena del T. Silla per un tempo di ritorno di 100 anni. Al di sopra si è proceduto alla ricostruzione del versante mediante la posa in opera di terre rinforzate. Al fine di distribuire su due elementi strutturali rigidi il carico imposto dal materiale di riporto, si è resa necessaria la realizzazione, a mezza costa, di un'opera di sostegno in c.a., fondata su micropali (88 elementi) del diametro di 220 mm e di lunghezza media di circa 16 m (infissi per gli ultimi 3 m nello strato roccioso). Tale opera è stata rinforzata con tiranti. In figura 8 è riportato lo schema degli interventi. Con il duplice scopo di minimizzare l'azione erosiva delle piogge e di migliorare l'inserimento paesaggistico, si è

provveduto a completare l'intervento con tecniche di rinaturalizzazione.

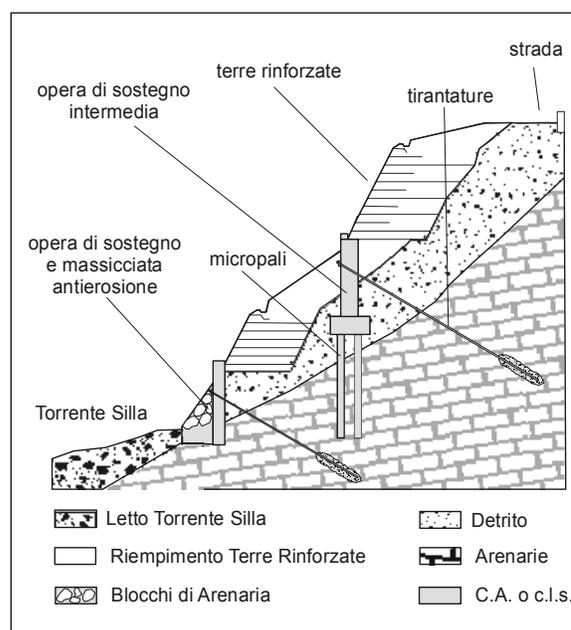


Fig. 8 - Schema progettuale adottato, in dettaglio. Tirantature in acciaio da 26 mm in rinforzo all'opera sostegno al piede e da 32 mm per l'opera a mezza costa. 88 micropali di fondazione per l'opera di sostegno a mezza costa con lunghezza media 16 m (almeno 3 m infissi nel substrato roccioso). Terre rinforzate tipo Terramesh® (moduli 3,0 \* 3,0 \* 0,73 m rispettivamente di larghezza, profondità e altezza, con inclinazione del fronte di 70°)

*Fig. 8 – Detailed project work adopted. Steel strands reinforcing the support work placed at the foot (26 mm thick) and half the side (32 mm thick) of the slope. 88 foundation micropiles along the slope (they are 16 m long on average with at least 3 m driven into the bedrock) Terramesh®-type reinforced soils*

La messa in opera dei moduli di terre rinforzate è avvenuta seguendo le indicazioni del fornitore, ma la scelta dei materiali di riempimento e delle tecniche di rinverdimento è rimasta in capo alla direzione lavori. I moduli sono stati riempiti con materiale reperito in loco, lungo l'alveo del T. Silla, dopo aver considerato e valutato positivamente l'asportazione di ciottoli e i conseguenti riadeguamenti del corso d'acqua. Il terreno vegetale utilizzato nel cuneo frontale di ogni modulo Terramesh® è stato trasportato in loco dopo averne valutato la compatibilità con la selezione vegetazionale decisa in fase di progetto e descritta nel seguito. Per la compattazione dei materiali non si sono adottati rulli poiché le buone caratteristiche granulometriche del materiale di riempimento ed il continuo passaggio dei mezzi escavatori garantivano comunque un buon livello di costipamento.

#### *Interventi con Tecniche di Rinaturalizzazione*

Al fine di predisporre un programma di riassetto vegetazionale nell'ambito degli interventi di completamento mediante tecniche di rinaturalizzazione, si è reso necessario definire il contesto fitoclimatico della zona, che risulta ascrivibile alla fascia del *Castanetum* freddo, di transizione verso quella del *Fagetum* caldo (Pavari, 1916). Da quanto emerge dagli studi vegetazionali, ed in particolare della Carta della Vegetazione del Parco Regionale del Corno alle Scale (Tommaselli *et al.*, 1997) l'attuale assetto relativo all'uso del suolo appare come il risultato dell'interazione tra le caratteristiche fisiche ed ambientali dei luoghi e un'intensa attività antropica che ha portato ad un frequente degrado strutturale e specifico delle formazioni boscate.

Il graduale abbandono fisico ed economico di questi territori, che solo negli ultimi anni appare in controtendenza, se da una parte ha permesso il processo di invecchiamento dei boschi cedui e l'abbandono dei coltivi, con conseguente forte aumento di aree arbustate e omogeneizzazione del paesaggio agro-forestale, dall'altra ha favorito la graduale scomparsa della rete superficiale di scolo delle acque e più in generale della manutenzione a carico delle opere minori di tipo idraulico-forestale realizzate in genere dagli anni '20 agli anni '60 del secolo scorso, che oggi risultano in generale stato di degrado strutturale e funzionale (Cavazza, 2002).

Per quanto riguarda la ricostruzione della copertura vegetale del pendio, l'impiego dell'idrosemina e delle specie arbustive sulle terre armate deve essere considerata una condizione indispensabile per valorizzare il senso ambientale e garantire la stabilità superficiale a questo tipo di interventi. La copertura erbacea di specie pioniere svolge un'azione di contenimento sull'erosione superficiale e crea le condizioni microambientali per il successivo insediamento di specie più evolute, mentre gli arbusti svolgono azione drenante ed ancorante.

Le condizioni stazionali, la presenza dell'area protetta e l'assetto finale della parete artificiale, caratterizzata da una forte pendenza, hanno reso la scelta delle piante erbacee ed

arbustive particolarmente complessa, operando essenzialmente mediante l'analisi di:

- studi vegetazionali, ed in particolare della Carta della vegetazione del Parco Regionale del Corno alle Scale (Tommaselli *et al.*, 1997);

- indicazioni rese disponibili nell'ambito del progetto regionale attualmente in corso finanziato e promosso dal Servizio Paesaggio, Parchi e Patrimonio Naturale "Studio per l'individuazione di tecniche di recupero ambientale e di liste floristiche di specie erbacee autoctone da utilizzarsi in interventi di rinaturalizzazione" che ha previsto indagini e rilievi anche nell'ambito dell'Alta Valle del Reno;

- indicazioni dirette dei tecnici del Parco Regionale e degli elaborati del Piano Territoriale del Parco (Credaro *et al.*, 1980; AA.VV., 1999);

- disponibilità commerciale di specie erbacee (certificazione e provenienza);

- appositi rilievi vegetazionali realizzati in loco, sul corpo di frana e nelle adiacenze.

Per le specie erbacee è stato quindi individuato un miscuglio di riferimento di graminacee-leguminose pioniere, ad elevata capacità vegetativa e migliorativa, tipiche dell'ambiente in esame (Tab. 2), mentre, relativamente agli arbusti, sono state utilizzate talee di salice arbustivo raccolte lungo la fascia ripariale del T. Silla adiacente alla zona di intervento (*Salix purpurea*, *Salix eleagnos*, *Salix apennina*). L'impiego di altre specie, originariamente previsto in progetto (*Laburnum anagiroides*, *Alnus incana*, *Coronilla emerus*, *Sambucus nigra*) non è stato realizzato per motivi economici.

Tab. 2 – Elenco delle specie individuate per il miscuglio di riferimento impiegato nel rinverdimento

Tab. 2 – List of plant species of the seed mix utilised for slope greening

<i>Festuca rubra</i>	<i>Festuca ovina</i>	<i>Dactylis sp</i>
<i>Bromus sp</i>	<i>Sesleria italica</i>	<i>Onobrychis sp</i>
<i>Lotus sp</i>	<i>Trifolium spp</i>	<i>Sanguisorba minor</i>

Nella figura 9 vengono illustrate alcune delle fasi salienti di realizzazione dell'intervento. Sono state evidenziati nelle immagini alcuni riferimenti allo schema di progetto precedentemente illustrato (Fig. 8). Si sottolinea la risposta quasi immediata del versante alle azioni di rinaturalizzazione.

## Conclusioni

L'intervento di mitigazione del rischio del fenomeno di instabilità in esame è stato impostato tenendo conto degli aspetti peculiari dell'area in cui è stato attuato; in particolare, della delicatezza dell'ecosistema della zona, che rientra nel territorio di pre-parco forestale del Parco Regionale del Corno alle Scale e che ha quindi richiesto molta attenzione verso gli aspetti naturalistici e paesaggistici.

Si sono inoltre dovute applicare e verificare soluzioni tecniche complesse per la ricostruzione, mediante terre rinforzate, di un pendio di altezza superiore a 30 m, a forte pendenza e scarsa accessibilità.

La soluzione adottata è stata il frutto di un approccio interdisciplinare al problema, che è stato esaminato nelle sue diverse componenti geologiche, ingegneristiche e naturalistiche. Ciò testimonia che anche nell'ambito della Pubblica Amministrazione si sta sempre più diffondendo la sensibilità per le problematiche di tipo ambientale, anche negli interventi che tradizionalmente avevano un approccio

esclusivamente idraulico-ingegneristico, e che la soluzione di problemi deve avvenire ricercando e coordinando al proprio interno le capacità e professionalità necessarie per una visione interdisciplinare di casi complessi come quello presentato. La collaborazione tra professionalità differenti ha spinto i progettisti all'approfondimento delle scelte tipologiche di intervento alternative, attraverso le varie fasi di progetto (preliminare, definitiva ed esecutiva), obbligando gli stessi ad armonizzare le stesse scelte con il parere degli Organi di Tutela Paesaggistica (Ente Parco).

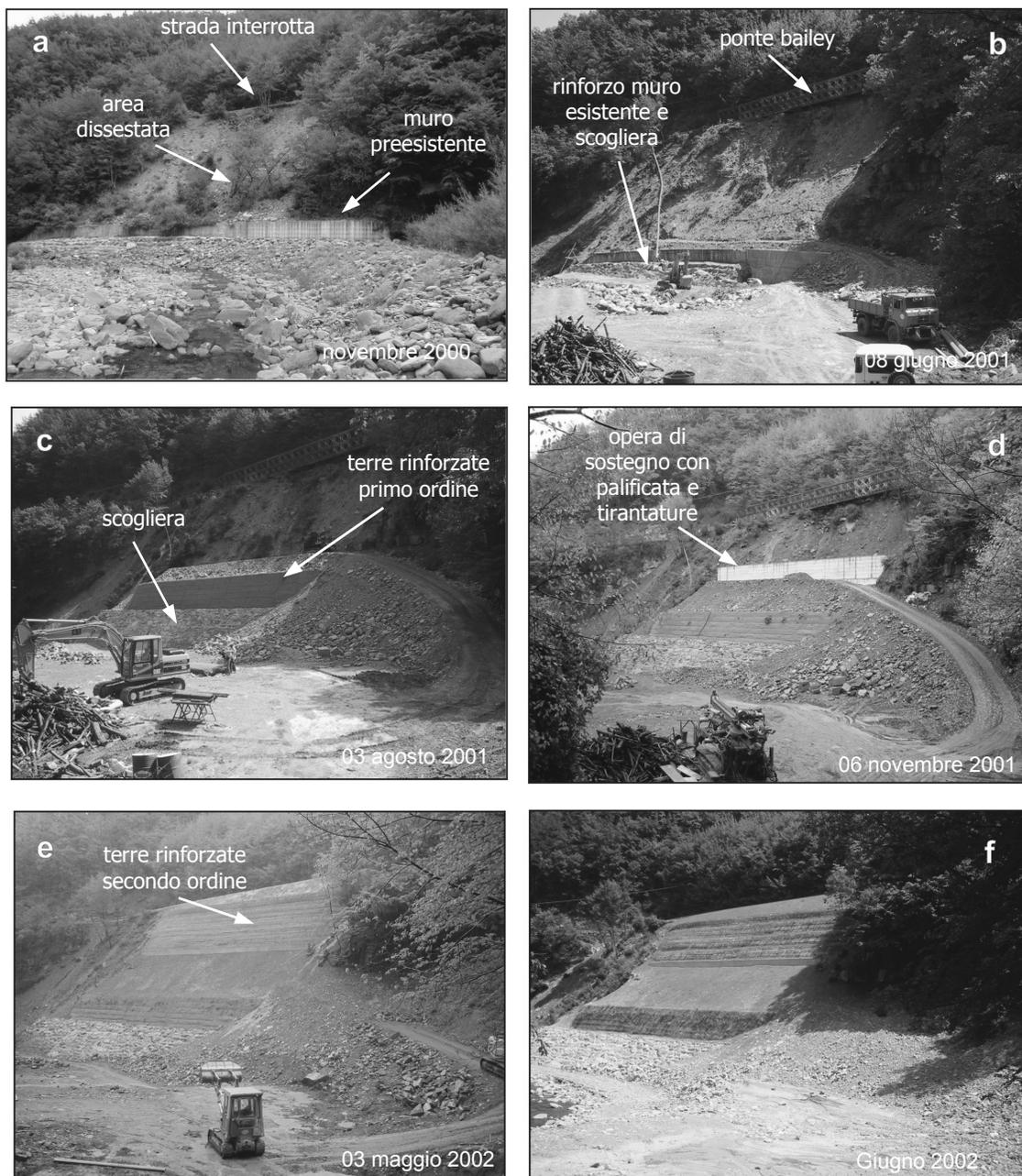


Fig. 9 - Fasi salienti della realizzazione dell'intervento di consolidamento

Fig. 9 – Main phases of the implementation of consolidation works

A distanza di più di due anni dal completamento dell'intervento l'area di lavoro appare come rappresentato in figura 10: l'alveo fluviale ha assunto un aspetto più

naturale e la vegetazione arbustiva comincia a mascherare le geometrie regolari del versante.



Fig. 10 - Aspetto del versante oggetto di intervento al 17 settembre 2003. Le talee non hanno ancora completato l'azione di copertura delle terre rinforzate ma si nota, a distanza di un anno dal termine dei lavori, un'importante crescita vegetativa delle specie arbustive che avranno il compito di creare il mascheramento principale

*Fig. 10 – Situation of the slope on 17<sup>th</sup> September 2003. Plant sets have not yet completely covered the reinforced soils, although a considerable growth of shrub species can be noticed after just one year from completion of works. The latter will eventually create the main greening of the scarp*

## Bibliografia

Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, 2001. Atlante delle opere di sistemazione dei versanti. 125 pp, Roma.

Autorità di Bacino del Reno, 1998a. Piano Straordinario delle Aree a Rischio Idrogeologico Molto Elevato. Attuazione della L. 267/1998 e succ. mod. [http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/PSAI/cd\\_PSAI/index.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/PSAI/cd_PSAI/index.htm)

Autorità di Bacino del Reno, 1998b. 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)

AA.VV., 1999. Elaborati tecnici del Piano Territoriale del Parco Regionale del Corno alle

Scale (inedito).

Cavazza C., 2002. Uso del suolo e dissesto idrogeologico: dinamiche, esperienze e interventi in Appennino bolognese. L'Appennino dal Passato al Futuro. Società Emiliana Pro Montibus et Silvis, 25-40, Bologna.

Credaro V., Ferrari C., Pirola A., Speranza M., Ubaldi D., 1980. Carta della vegetazione del crinale appenninico dal Monte Giovo al Corno alle Scale. CNR, Roma.

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.

Geo&Soft. Software per l'analisi di stabilità versanti I.L.A. (<http://www.geoandsoft.com>)

Pavari A., 1916. Studio preliminare sulle colture di specie forestali esotiche in Italia. Annali del Regio Istituto Superiore Forestale Nazionale, Vol. 1, 159-379.

Regione Emilia-Romagna. Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000, Sezione n. 251070. [http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito\\_cartografia/sito\\_cartografia.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/cartografia/sito_cartografia/sito_cartografia.htm)

Tomaselli M., Rossi G., Manzini M.L., Del Prete C., 1997. Carta della vegetazione del Parco Regionale del Corno alle Scale (edizione provvisoria).