

# Tecniche di intervento per il consolidamento delle aree calanchive: applicazione del metodo dei “canali filtranti” per la sistemazione del Vallone Toschi e del dissesto di Cassinago (Appennino reggiano)

Gaetano Sartini\*, Carlo Mascheroni\*\*

\*Regione Emilia-Romagna, Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia, Sede di Reggio Emilia, Via Emilia Santo Stefano, 25 42100 Reggio Emilia, E-mail: Gsartini@regione.emilia-romagna.it

\*\*ASM Pavia S.p.A., Ufficio Tecnico Area Progetti, Via Donegani, 21 27100 Pavia, E-mail: c.mascheroni@asm.pv.it

*Intervention techniques for the consolidation of badland areas: the examples of Vallone Toschi and Cassinago (northern Apennines, Italy)*

**ABSTRACT:** Some techniques utilised by the “Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro and Secchia” (previously known as Technical Service for Soil Conservation of Reggio Emilia Province) for consolidating badland areas in the Reggio Emilia Apennines are described. These areas correspond to vast outcrops of clayey-marly formations belonging to the Epi-Ligurian Sequence and the Ligurian Units. Various types of structural interventions for badland consolidation are described and water channelisation systems are also discussed, comparing different kinds of remedial measures. In addition, an innovative solution for running water management in unfavourable geomorphological contexts – such as badland areas – is presented. This solution, based on the technique defined as “filtering channels”, has already been experimented by this Technical Service in various areas of the Reggio Emilia Apennines. Its effectiveness results from the acquisition of immediate and definitive results for the stabilisation of badland areas subject to important erosional processes. Finally, the results obtained by applying this method to the badland area named Vallone Toschi and the mass wasting process affecting the hamlet of Cassinago, in the municipality of Baiso, are discussed.

*Key terms:* Consolidation methods, Badlands, Northern Apennines

*Termini chiave:* Metodi di consolidamento, Aree calanchive, Appennino settentrionale

## Riassunto

Nella nota vengono descritte alcune tecniche utilizzate dal Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia (già Servizio Provinciale Difesa del Suolo di Reggio Emilia) per il consolidamento di aree calanchive presenti nell'Appennino reggiano. Tali aree si collocano in corrispondenza di estesi affioramenti argillosi, pelitici e/o marnosi appartenenti alla Successione Epiligure e alle Unità Liguri. Gli Autori illustrano le diverse opere di carattere strutturale e le soluzioni di regimazione delle acque fin qui utilizzate per il consolidamento dei calanchi, mettendo a confronto le diverse tipologie di intervento. Viene infine proposta una soluzione innovativa per il governo delle acque in presenza di contesti geomorfologici sfavorevoli, quali gli ambienti calanchivi, che fa riferimento alla tecnica denominata dei “canali filtranti”. La tecnica di intervento, sperimentata già da alcuni anni dal Servizio Tecnico in diverse aree dell'Appennino reggiano, è in grado di fornire risultati immediati, efficaci e definitivi nel tempo nella stabilizzazione di forme calanchive soggette a importanti fenomeni erosivi. Gli Autori descrivono infine i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo nella sistemazione del calanco denominato Vallone Toschi e del dissesto che

coinvolge l'abitato di Cassinago, in comune di Baiso.

## Introduzione

Nell'Appennino Reggiano affiorano estesamente formazioni a prevalente componente argillosa appartenenti alla Successione Epiligure ed alle Unità Liguri (Bettelli & Panini, 1987; Bettelli *et al.*, 1987a, Bettelli *et al.*, 1987b). Si tratta di mélanges, argilliti e marne variamente tettonizzati che, nel caso delle Unità Liguri, si rinvencono alla base di flysch arenaceo-marnosi. Queste litologie, largamente diffuse nel medio Appennino reggiano, risultano frequentemente soggette a processi di erosione concentrata e di trasporto che determinano la formazione di morfotipi, assimilabili a calanchi, caratterizzati da un fitto sistema di vallecole profondamente incise, contornate da pareti alte e ripide, con creste sottili, in continua evoluzione. Sul fondo delle vallecole principali si sviluppano colate di terra attive alimentate dal materiale eroso dai versanti. In alcuni casi, l'evoluzione di tali aree calanchive interferisce con aree urbanizzate e/o infrastrutture viarie, determinando la necessità di un loro controllo e consolidamento; tale attività è complicata dalle scadenti caratteristiche meccaniche dei litotipi coinvolti e dalla elevata pendenza dei versanti in

dissesto (Bertolini *et al.*, 2001).

La presente nota illustra gli interventi di consolidamento realizzati in due aree calanchive situate nel comune di Baiso, nel medio Appennino reggiano, realizzati a partire dalla fine degli anni '90 dal Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia - sede di Reggio Emilia - della Regione Emilia-Romagna (di seguito per brevità indicato come STB-RE). Si tratta di interventi basati sull'uso integrato di gabbioni e canali filtranti che, nello specifico, hanno consentito una soddisfacente sistemazione e controllo di dissesti che causavano rischio per abitazioni civili, strade ed altre infrastrutture di servizio pubblico.

### Tecniche di consolidamento adottate

Le tecniche usualmente adottate per contenere l'evoluzione dei calanchi mirano a ridurre la pendenza dei versanti e delle vallecicole e, nel contempo, a regimare le acque di ruscellamento e di deflusso. Compilate queste fasi preliminari, è possibile predisporre le successive operazioni per favorire la formazione di una copertura vegetale pioniera, che evolverà naturalmente, o con ulteriori interventi, in una copertura stabile (ANPA, 2002). Il STB-RE ha operato nella stabilizzazione delle aree calanchive oggetto della presente nota - e di altre simili - attraverso varie fasi operative mirate essenzialmente a:

- creazione di un nuovo profilo di equilibrio delle vallecicole calanchive per mezzo di gabbioni;
- regimazione delle acque di deflusso e di ruscellamento per mezzo di canali filtranti;
- impianto della copertura vegetale.

#### **Creazione di un nuovo profilo di equilibrio delle vallecicole calanchive per mezzo di gabbioni**

La creazione di un nuovo profilo di equilibrio delle vallecicole calanchive è attuata essenzialmente attraverso gradonatura, con "alzate" sostenute da opere di contenimento strutturale poste trasversalmente all'asse della vallecicola e singole "pedate" con profilo di progetto compreso tra  $10^{\circ}$ - $12^{\circ}$ , valore ritenuto ottimale per le caratteristiche meccaniche dei litotipi argillosi dell'Appennino reggiano. Per il sostegno strutturale delle singole "alzate", il STB ha fatto ricorso, nel tempo, alla sperimentazione ed utilizzo di briglie di varia tipologia: gabbionate in pietrame, briglie in terra, terre rinforzate o armate, muri cellulari ecc.

Il controllo sui vari interventi, effettuato nel corso degli anni, ha permesso di constatare che le gabbionate sono le opere che risultano più efficaci e vantaggiose rispetto a tutte le altre tipologie di briglie sopra elencate. Esse sono, infatti, molto resistenti nel tempo, poco impattanti, consentono una buona regimazione e governo delle acque di deflusso, richiedono minor superficie d'imposta e minori scavi di sbancamento a parità di altezza rispetto alle altre tipologie di briglie, hanno ottime caratteristiche di elasticità, sono di facile e rapida esecuzione e non richiedono, praticamente, manutenzione nel tempo (Fig. 1).

I vantaggi costruttivi e funzionali sopra descritti possono essere vanificati se non si opera un adeguato ammassamento dell'opera di contenimento ai fianchi della vallecicola calanchiva e, in particolare, nel substrato roccioso.

Nei siti di intervento, le gabbionate vengono normalmente collocate al di sopra di una trave di fondazione in cemento armato. Ove il substrato è posto ad una profondità superiore a  $5\div 7$  m, la trave di fondazione è posta a coronamento di file di pali trivellati posti a quinconce ed, eventualmente, ancorata da tiranti. La dimensione ed il numero dei pali e dei tiranti sono di volta in volta calcolati in base alle spinte trasversali.



Fig. 1 – Gabbionata a quattro ordini in corso di realizzazione nel 2002 sul calanco in località Giorgella, in Comune di Baiso (Reggio Emilia) (Foto S. Patrizi)

*Fig. 1 – Construction of a four-order gabion on the badland of Giorgella, Municipality of Baiso (2002) (Photo S. Patrizi)*

Dove, al contrario, il substrato si trova a profondità minori, i pali di fondazione sono sostituiti da setti verticali in cemento armato, disposti secondo la massima pendenza e spinti quanto più possibile nel substrato. Il numero e le dimensioni dei setti sono determinati in relazione alla lunghezza della trave, al peso della struttura in elevazione, alle spinte del terreno sul paramento di monte della gabbionata, nonché alla profondità e conformazione del substrato, nonché soddisfacendo le verifiche di stabilità richieste dalla normativa vigente. In ogni caso, i setti, a sezione rettangolare, vengono sempre progettati con lunghezze pari o maggiori alla larghezza della trave di fondazione e dotati di adeguata armatura, costituita almeno da una gabbia con barre di ferro da  $\varnothing 10\div 12$  mm, con passo non minore di 30 cm. L'armatura dei setti è quindi collegata a quella della trave con una leggera inclinazione verso monte, per favorire la raccolta delle acque nel dreno, collocato fra la trave e la roccia in posto.

Per tutta la lunghezza della trave di fondazione, viene inoltre posto in opera un drenaggio in massello di pietrisco o ciottolame, dotato alla base di una tubazione

microfessurata per convogliare le acque in un pozzetto ispezionabile, che viene collocato in posizione centrale rispetto al dreno e ad almeno 1 m a monte della gabbionata. Le dimensioni del pozzetto sono di norma superiori alla sezione dei canali ad esso afferenti, onde evitare nel tempo problemi di aggiramento e scalzamento del pozzetto stesso da parte delle acque; tali dimensioni sono comunque sufficienti a consentire eventuali futuri lavori di manutenzione e pulizia. Le acque raccolte nel pozzetto sono

poi convogliate a valle con una tubazione collocata al di sotto (o all'interno) della trave di fondazione, la cui sezione è proporzionata al microbacino sotteso, ma comunque di diametro sufficientemente grande da consentire una adeguata e facile manutenzione della tubazione nel tempo. La tubazione convoglia le acque ad un secondo pozzetto, posto a valle della gabbionata, oppure direttamente nel canale principale di raccolta delle acque previsto a valle (Figg. 2 e 3).

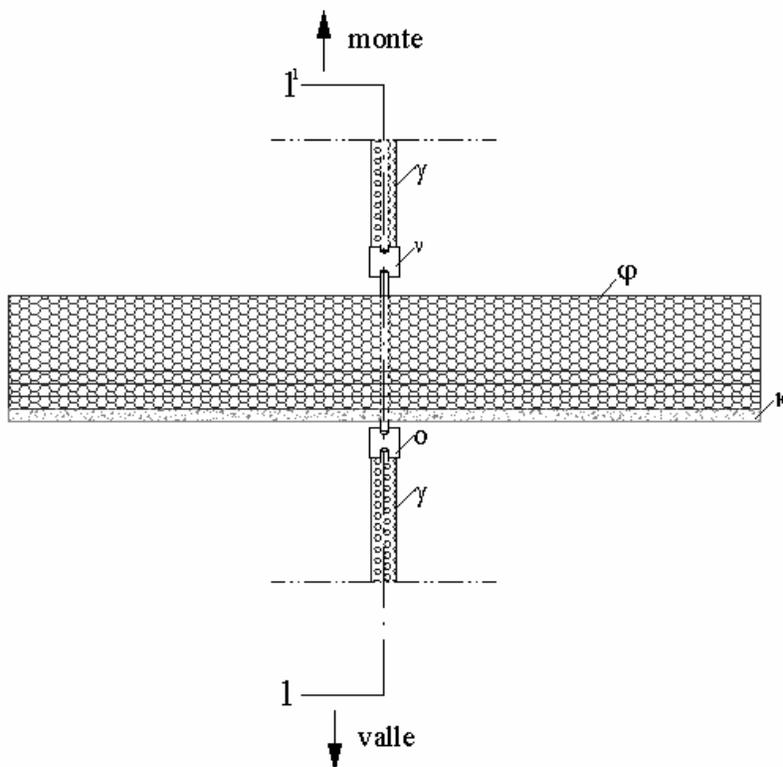


Fig. 2 – Rappresentazione planimetrica di briglia in gabbioni con opere di raccolta e smaltimento acque. Legenda: φ) Gabbioni; κ) trave di fondazione; v) pozzetto di monte; o) pozzetto di valle; γ) collettore principale. La sezione 1<sup>1</sup>-1 è rappresentata in Fig. 3.

Fig. 2 – Plan sketch of gabion check dam equipped for water collection and disposal. Legend: φ) gabions; κ) foundation plinth; v) upstream drain well; o) downstream drain well; γ) main channel

Mentre la gabbionata si sviluppa in altezza, si procede al riempimento a tergo, con la stesa di successivi livelli di terreno argilloso, compattato secondo il suo grado di addensamento ottimale per ridurre la permeabilità e migliorare le caratteristiche meccaniche del riporto. Il pozzetto di raccolta delle acque a monte viene gradualmente sopraelevato, contestualmente alla realizzazione dei vari ordini della gabbionata. Per avere una migliore raccolta delle acque, la briglia ha un'altezza complessiva superiore alla quota del piano campagna nel lato a monte. Di tale esigenza si tiene conto anche nella definizione del numero di ordini della gabbionata e della quota di imposta della trave di fondazione.

Dopo l'ultimazione della briglia, è realizzata la sistemazione morfologica del microbacino di raccolta delle acque che defluiscono verso l'opera di contenimento. È

quindi necessario modellare il bacino di monte in modo tale che tutta l'area sottesa dalla gabbionata abbia una pendenza regolare verso il pozzetto di monte. La regolazione del deflusso è finalizzata, oltre a garantire la completa raccolta delle acque superficiali, anche ad impedire che le stesse possano disperdersi verso valle senza controllo e raggiungere la gabbionata, causando l'innesco di processi erosivi in corrispondenza del paramento di monte e/o dell'ammorsamento laterale della stessa.

#### **Regimazione delle acque di deflusso e di ruscellamento per mezzo di canali filtranti**

Dopo la riprofilatura a gradoni della vallecchia, si realizza una rete di drenaggio superficiale per evitare l'erosione del suolo e la saturazione del sottosuolo. La rete di drenaggio può essere realizzata, in linea di principio, attraverso diversi sistemi.

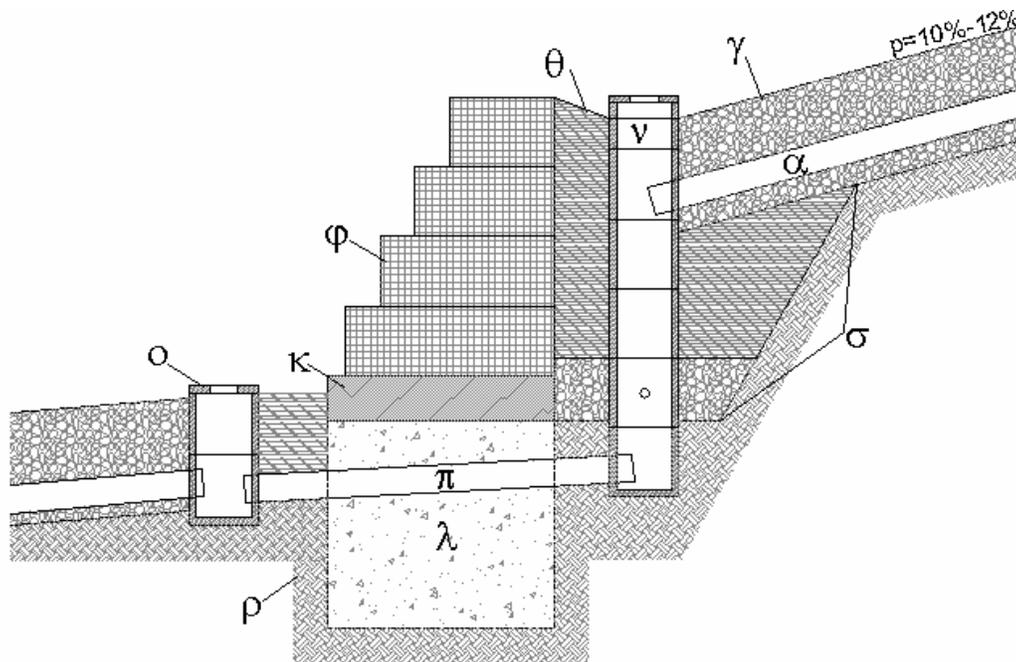


Fig. 3 – Sezione 1-1' di Fig. 2 raffigurante una briglia in gabbioni fondata su trave provvista di setti, completa di opere di raccolta e smaltimento acque. Legenda: φ) gabbioni; κ) trave di fondazione; λ) setto di fondazione; γ) drenaggio; ν) pozzetto di monte; ο) pozzetto di valle; π) condotta di scarico cieca a collegamento dei pozzetti; θ) terreno di riempimento compattato; ρ) substrato roccioso; σ) sezione di sbancamento; γ) collettore principale; α) collettore di scarico cieco

Fig. 3 – Section 1-1' showing gabion founded on plinth equipped for water collection and disposal. Legend: φ) gabions; κ) foundation plinth; λ) foundation core; γ) drainage; ν) upstream drain well; ο) downstream drain well; π) blind discharge pipeline connected to drain wells; θ) compacted filling soil; ρ) bedrock; σ) excavation section; γ) main discharge channel; α) blind discharge channel

Il più semplice è rappresentato da un reticolo di canalette in terra che, però, presentano scarsa funzionalità nel tempo in un contesto calanchivo, dove subiscono rapidi processi di erosione laterale e di fondo, che ne pregiudicano la funzionalità. Inoltre, queste canalette convogliano ingenti quantità di materiale fine verso le tubazioni e i pozzetti che vengono collocati a tergo delle gabbionate, determinandone un rapido interrimento. Per ovviare a tali problemi si possono costruire manufatti trasversali (piccole soglie) all'interno delle canalette; questo rimedio necessita però di continui ed onerosi interventi di manutenzione e, pertanto, non garantisce una adeguata efficienza del sistema drenante nel tempo.

Alternativamente, si possono utilizzare canalette rivestite in legname, pietrame o con semitubi prefabbricati che consentono una riduzione dell'erosione all'interno del canale, ma che pongono problemi per la regolare e completa raccolta delle acque del versante. Infatti, le acque tendono a defluire esternamente al canale, nella zona di contatto tra il terreno ed il rivestimento, ove poi esercitano una forte azione erosiva laterale. In breve tempo ciò provoca la progressiva separazione del rivestimento dal terreno e le acque defluiscono a lato e sotto il canale, fino al completo isolamento del manufatto ed alla sua successiva rottura. Il fenomeno illustrato si manifesta anche nelle canalette rivestite in pietrame, anche se con tempi più lunghi, in

quanto l'azione di erosione e di scalzamento agisce sui singoli massi.

Per ovviare a tutti gli inconvenienti delle tradizionali canalette, il STB ha messo a punto e sperimentato con successo un particolare tipo di canale di raccolta delle acque denominato "canale filtrante". Esso è un canale in terra completamente riempito, fin oltre la sommità dello scavo, con materiale drenante arido grossolano (Fig. 4).

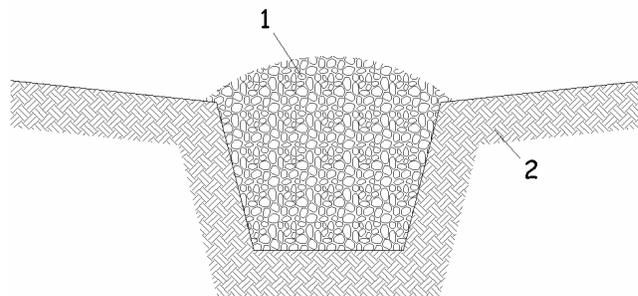


Fig. 4 – Sezione tipo canale filtrante collettore. Legenda: 1) filtro drenante; 2) sezione di scavo

Fig. 4 – Typical section of a filtering channel. Legend: 1) Draining filter; 2) section of excavation

La scelta di una tale soluzione, che può essere considerata una via intermedia tra una canaletta in terra ed una trincea drenante di limitata profondità, deriva

dall'analisi delle correlazioni tra fenomeni di erosione di fondo e velocità di deflusso delle acque. Dai risultati sperimentali di Hjulström (1935) si ricava che, per velocità medie nella sezione del canale superiori a 35÷40 cm/s, si innescano fenomeni di erosione su un substrato a prevalente componente limosa (diametro dei granuli tra 0,02 e 0,05 mm). Per evitare fenomeni di erosione si rende quindi necessario mantenere la velocità all'interno del canale non superiore al valore sopra citato. Volendo evidenziare la distribuzione della velocità media in un canale di sezione trapezoidale, con dimensioni e caratteristiche simili a quelle dei canali realizzati per la raccolta e l'allontanamento delle acque in corpi di frana, in riferimento alla formulazione di moto uniforme di Chezy (Citrini & Nosedà, 1987), si ha:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove: V = velocità media sulla sezione; n = indice di scabrezza di Manning; R = raggio idraulico; i = pendenza del canale.

In una prima verifica si è ritenuto opportuno utilizzare un indice di scabrezza di Manning pari a 0,040 e una pendenza dell'1%. Tali sono le caratteristiche medie di un canale trapezoidale di allontanamento delle acque posto in una cunetta stradale con larghezza sul fondo pari a 50 cm, larghezza in sommità pari a 80 cm e altezza di 100 cm. Dall'analisi dei risultati si evince come le velocità medie sulla sezione si mantengono al di sotto del valore determinato da Hjulström (1935) solo se l'altezza della corrente non supera i 65 mm. In occasione di fenomeni temporaleschi di non eccessiva intensità, l'altezza d'acqua nei canali di scolo tende a superare tale valore; la velocità quindi supera in quelle occasioni i valori critici proposti e si attivano fenomeni di erosione all'interno del canale. Si è voluta perseguire una ulteriore verifica, considerando la pendenza del canale incrementata fino al 18% (10°); tale valore di pendenza caratterizza molti dei canali di allontanamento delle acque posti a monte delle opere di sostegno nei pendii in dissesto.

Dall'analisi dei risultati si ricava come le velocità medie sulla sezione si mantengono al di sotto del valore determinato da Hjulström (1935) solo se l'altezza della corrente non supera i 5÷6 mm.

Dovendo mantenere le velocità all'interno del canale non superiori al valore sopra citato, per evitare fenomeni di erosione, si è pensato quindi di realizzare i canali di raccolta e allontanamento come "canali filtranti", ovvero scavandoli come normali canali e poi provvedendo a riempirli fino in sommità con ciottolame di diametro variabile tra i 40÷100 mm (valore ottenuto in base alla sperimentazione fatta per canali con pendenze fra 5% e 15%).

La verifica delle condizioni di buon funzionamento dei canali filtranti è stata condotta facendo riferimento alla teoria dei moti di filtrazione proposta da Darcy (Citrini & Nosedà, 1987):

$$V = \frac{k \cdot j}{N}$$

dove V = velocità nei meati tra i ciottoli; N = porosità delle ghiaie; k = coefficiente di conducibilità idraulica; j = cadente piezometrica.

Supponendo a questo punto di sostituire la cadente piezometrica con la pendenza di fondo del canale, vale a dire supponendo che le perdite di carico generate sulla corrente siano pari all'incremento di energia potenziale posizionale (condizioni del tutto pari a quelle che si generano in una corrente fluida in moto uniforme), si ottiene:

$$V = \frac{k \cdot i}{N}$$

Nel caso delle ghiaie, con N = 0,30; k = 0,50 m/s; i = 18%, la velocità del generico filetto fluido che passa tra i ciottoli con cui viene realizzato il canale può essere quindi stimata intorno a 30 cm/s. Ciò dimostra che i valori di velocità si mantengono al di sotto di quelli critici e pertanto, all'interno dei canali filtranti, non si possono generare condizioni di erosione di fondo, anche in assenza di rivestimento del materiale arido con geotessile. Naturalmente la semplificazione teorica utilizzata è stata opportunamente suffragata da un'analisi sperimentale del comportamento dei canali filtranti, tesa a verificare se l'effettiva distribuzione di velocità all'interno del canale stesso soddisfi l'analisi precedentemente riportata, specialmente per i punti a maggiore criticità del reticolo (canali ultimi recettori e sbocchi terminali).

Il dimensionamento della sezione dei canali filtranti e la loro spaziatura sul versante deriva da una valutazione dell'ampiezza del bacino sotteso, della pendenza del versante e delle precipitazioni massime registrate nell'area. Si avranno quindi canali filtranti centrali di maggiori dimensioni e canali filtranti laterali di dimensioni minori, che potranno essere realizzati anche con fondo pensile su quello principale (Fig. 5). Per impedire il ruscellamento delle acque correnti tra due canali filtranti adiacenti e la conseguente erosione, in base alle esperienze maturate nel territorio della Provincia di Reggio Emilia su terreni argillosi, l'interasse di spaziatura fra i canali filtranti laterali non deve superare 10÷15 m. Trattandosi poi di opere realizzabili per moduli, si potrà in ogni caso verificare, dopo una stagione piovosa, l'idoneità dell'interasse adottato in progetto, provvedendo alla sua riduzione, laddove dovessero comparire tracce di solchi di erosione in evoluzione.

Più specificamente, ai fini di ottimizzare la distribuzione di canali filtranti negli interventi di consolidamento dei calanchi, è opportuno considerare la vallecchia calanchiva come suddivisa in celle morfologiche delimitate dalle singole opere strutturali realizzate. Il reticolo dei canali filtranti va infatti progettato con una geometria che si adatti al tipo ed alle caratteristiche della cella calanchiva su cui si interviene: cella di monte (posta tra la prima briglia e la

testata della vallecola), celle successive comprese tra due briglie contigue, cella posta a valle dell'ultima briglia (Fig. 6).

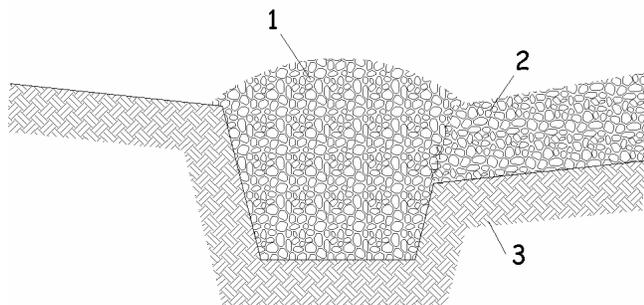


Fig. 5 – Sezione tipo canali filtranti in corrispondenza confluenza canale laterale in canale collettore. Legenda: 1) filtro canale collettore; 2) filtro canale laterale; 3) substrato roccioso

*Fig. 5 – Typical section of filtering channels at the confluence of a lateral channel into the main one. Legend: 1) main filtering channel; 2) lateral filtering channel; 3) bedrock*

Procedendo da monte verso valle, si procede dapprima alla regimazione delle acque afferenti alla cella di monte, coincidente con la testata della vallecola, dove si ha il maggior apporto idrico; discendendo lungo la vallecola, si provvede quindi alla regimazione delle acque afferenti alle celle successive intermedie poste a valle, e così fino all'ultima cella, dopo la quale le acque sono convogliate nel reticolo idrografico naturale. Particolare attenzione viene posta alla completa e regolare raccolta delle acque alla chiusura di ogni cella e al loro trasferimento alla cella sottostante, attraverso i pozzetti già predisposti in corrispondenza della gabbionata, seguendo le soluzioni puntuali illustrate nel seguito. Il trasferimento delle acque da una cella a quella sottostante rappresenta infatti un passaggio molto delicato, che può comportare l'attivazione di fenomeni erosivi, ovvero il progressivo interrimento dei manufatti (pozzetti e condotte di scarico), se le lavorazioni non vengono realizzate a regola d'arte e nel rispetto delle soluzioni ottimali emerse dalle numerose sperimentazioni effettuate. A tale scopo, è necessario che la sommità del pozzetto di monte risulti sopraelevata di qualche decimetro rispetto al piano campagna circostante, onde evitare l'ingresso non controllato delle acque (Fig. 6).

Per evitare la eccessiva dispersione delle acque e i conseguenti fenomeni di erosione, nel pozzetto di monte viene fatto confluire soltanto il collettore filtrante centrale; pertanto, tutti i canali filtranti laterali si immettono nel collettore centrale prima del suo scarico nel pozzetto di monte. Tuttavia, per una più completa regimazione delle acque può risultare valida anche la costruzione di due canali laterali collocati subito a monte della gabbionata e paralleli ad essa confluenti direttamente al pozzetto. Lo scopo di questa coppia di canali laterali filtranti è quella di intercettare eventuali acque che dovessero sfuggire alla rete dei canali filtranti posti più a monte, impedendo che possano raggiungere la vicina gabbionata e provocare

fenomeni erosivi al suo intorno. Infine, per agevolare il rapido ingresso nel pozzetto di tutte le acque (anche quelle eventualmente non raccolte dai canali filtranti) ed evitare fenomeni di erosione, è opportuno realizzare, intorno al pozzetto stesso, un semianello drenante.

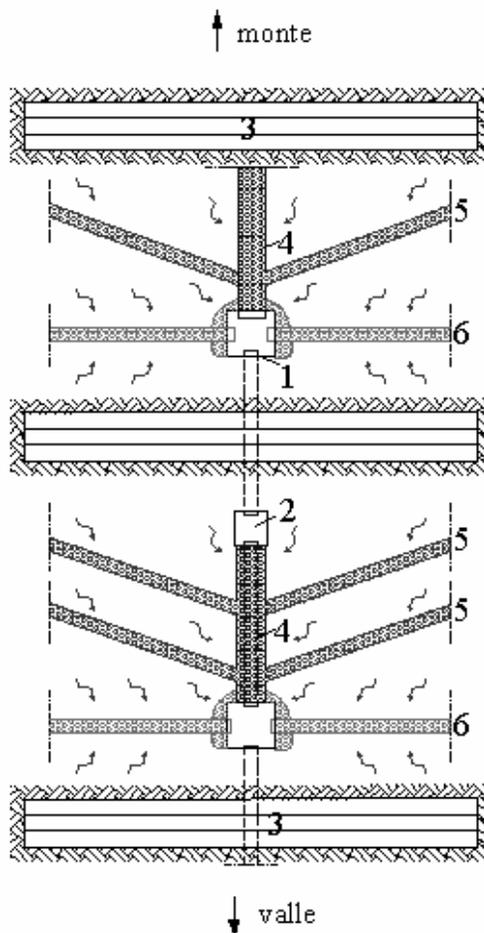


Fig. 6 – Schematizzazione di un tratto di vallecola calanchiva suddivisa in celle morfologiche di tipo intermedio. Rappresentazione opere di consolidamento. Legenda: 1) pozzetto di monte; 2) pozzetto di valle; 3) briglia; 4) canali filtranti collettori; 5) canali filtranti laterali; 6) semianello drenante.

*Fig. 6 – Schematic view of a stretch of badland area subdivided into morphological cells of the intermediate type and consolidation works. Legend: 1) upstream drain well; 2) downstream drain well; 3) check dam; 4) main filtering channels; 5) lateral filtering channels; 6) draining half-ring.*

Tutte le acque provenienti dai canali si raccolgono quindi sul fondo del pozzetto, unendosi alle acque del drenaggio presente a tergo della trave di fondazione della gabbionata. Ogni pozzetto collocato a tergo di una gabbionata rappresenta quindi il punto di chiusura e di raccolta della rete di canali della propria cella: è evidente la necessità che tutte le acque che si raccolgono entro il pozzetto non vengano sversate nuovamente nel canale collettore della cella di valle. Conseguentemente, tutte le

acque che si raccolgono nel pozzetto devono sempre essere trasferite a valle, fino al loro convogliamento nella rete drenante naturale, per mezzo di una tubazione cieca, già predisposta sotto la trave di fondazione. Se lo scarico delle acque avviene nel secondo pozzetto, posto subito a valle della briglia, da tale pozzetto di valle partirà un secondo tubo cieco, collocato all'interno dello scavo del canale collettore della seconda cella. In assenza del pozzetto di valle si provvede a prolungare direttamente la tubazione cieca, già collocata sotto la gabbionata, sul fondo dello scavo del nuovo canale collettore principale.

Al nuovo canale collettore della cella sottostante, confluiscono anche i nuovi canali laterali da realizzarsi nella cella medesima secondo le tecniche già illustrate, in numero e con interasse ritenuti necessari. Il nuovo collettore confluisce al successivo pozzetto posto a monte della seconda briglia, con le stesse procedure e particolari costruttivi (Fig. 6). La successione sopra descritta si ripete fino al pozzetto dell'ultima cella del sistema, dal quale tutte le acque raccolte verranno accompagnate allo scarico finale nel reticolo idrografico naturale.

In conclusione parziale, i vantaggi dei canali filtranti rispetto alle comuni canalette possono pertanto essere così riassunti:

- facile e rapida esecuzione;
- eliminazione o contenimento dell'erosione sulle sponde e sul fondo del canale;

- assenza di problemi di raccolta laterale delle acque. Infatti, le acque di dilavamento che giungono al canale si disperdono direttamente ed immediatamente nel filtro drenante dotato di elevata porosità efficace, raccogliendosi sul fondo;

- controllo della velocità di deflusso delle acque. L'aumento di portata nel canale collettore a seguito degli apporti dai canali laterali, determina l'aumento della sezione bagnata del canale filtrante, mentre la velocità di deflusso ha una variazione modesta;

- dal momento che la sezione è riempita con ciottolame, i canali filtranti sono meno vulnerabili alle spinte laterali ed al collasso delle sponde, al contrario dei normali canali in terra e/o rivestiti;

- i canali filtranti sopportano cedimenti e deformazioni del versante senza perdere la loro funzionalità, a differenza dei canali rivestiti;

- la geometria dei canali e l'elevata permeabilità del materiale drenante favoriscono la sedimentazione del trasporto solido all'esterno dei canali. In caso di forti piogge, le acque afferenti, si disperdono entro il materiale drenante sopraelevato rispetto al piano campagna, con conseguente riduzione della velocità e deposizione di parte del carico solido mobilizzato all'esterno del pozzetto;

- il reticolo messo in opera può essere facilmente potenziato e sviluppato negli anni, fino ad ottenere il giusto grado di stabilizzazione dei versanti.

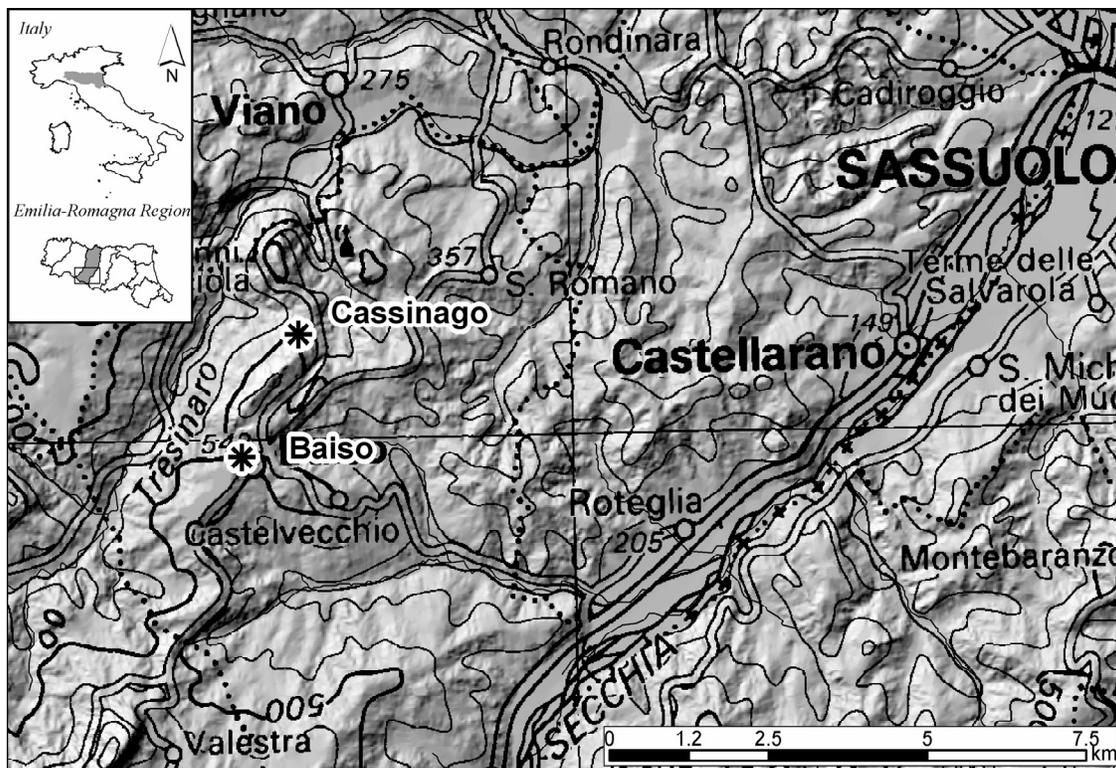


Fig. 7 – Inquadramento geografico  
Fig. 7 – Geographical location

### **Impianto della copertura vegetale**

Realizzate le opere strutturali e completate quelle di regimazione delle acque i lavori di consolidamento del calanco si possono considerare conclusi e, quindi, ridotti o eliminati i processi di erosione superficiale. Questa condizione di stabilizzazione del versante consente l'attivazione, sia pur lenta e graduale, dei processi di pedogenesi, che pongono le condizioni per l'avvio e lo sviluppo di una idonea copertura vegetale, mediante il ricorso a tecniche di intervento tradizionali o di bioingegneria (ANPA, 2002). I primi interventi sono indirizzati alla creazione di una copertura erbosa ed all'impianto di talee (tamerici, salici ecc.). Per la copertura erbosa possono risultare idonee miscele di varie specie, già sperimentate in queste aree, da seminare a spaglio, meccanicamente o con l'idrosemina, a seconda della diversa acclività ed accessibilità dei luoghi. Il ripristino vegetazionale, in questi terreni sterili ed asciutti per intere stagioni, risulta, specialmente nella fase iniziale, molto lento e caratterizzato da elevate percentuali di insuccesso. Per tali ragioni la scelta e la realizzazione di questi interventi devono prevedere la consulenza specialistica di forestali e/o

agronomi.

### **Esempi applicativi**

La tecnica di intervento precedentemente descritta è stata utilizzata negli ultimi anni dall'STB-RE per consolidare due aree calanchive poste nel comune di Baiso: una posta immediatamente a nord del capoluogo comunale, localmente denominata Vallone Toschi, l'altra posta nei pressi dell'abitato di Cassinago. Entrambe le località si collocano alla quota di circa 500 m s.l.m. (Fig. 7).

#### **Consolidamento del Vallone Toschi**

Il Vallone Toschi si sviluppa in un'area caratterizzata da affioramenti di breccie poligeniche a matrice argillosa nerastra sovraconsolidata. Il sistema calanchivo in esame è arrivato ad interferire, nel corso della sua evoluzione, con la periferia nord dell'abitato capoluogo, provocando, in periodi diversi, il crollo di edifici e minacciando la stabilità di altre abitazioni ed infrastrutture pubbliche e private (Fig. 8).



Fig. 8 – Panoramica e particolare di alcuni crolli causati dalla regressione della testata della vallecchia calanchiva n° 1 (cf. Fig. 9) alla periferia nord del capoluogo di Baiso

*Fig. 8 – General view and detail of some failures caused by retrogression of badland area no. 1 at the southern outskirts of Baiso village*

A seguito dei primi eventi distruttivi, l'abitato fu dichiarato da consolidare a cura e spese dello Stato, ai sensi della L. 445/1908, con D.P.R. n. 1066 del 10/7/1969.

A partire dai primi anni '70 del secolo scorso, la Regione Emilia-Romagna ha avviato i lavori di consolidamento del Vallone Toschi, che sono poi proseguiti fino agli anni '90, quando la Regione ha messo a disposizione le risorse economiche necessarie per il definitivo consolidamento dell'abitato.

I tempi molto lunghi, circa trenta anni, che si sono resi necessari per completare il consolidamento del Vallone Toschi hanno consentito di utilizzare quest'area per sviluppare l'esperienza del Servizio e sperimentare le migliori tecniche di intervento. In effetti, tra le opere

strutturali di contenimento presenti all'interno dell'area Vallone Toschi, si ritrovano alcune gabbionate realizzate negli anni '70, caratterizzate da totale assenza di strutture di fondazione in cemento armato, oltre a manufatti per la raccolta e scarico delle acque, muri cellulari e briglie in terra, sperimentate per un breve periodo agli inizi degli anni '90, ed infine nuovamente gabbionate, realizzate secondo le tecniche precedentemente descritte, che, dalla metà degli anni '90, hanno sostituito nuovamente tutte le altre tipologie di intervento. Nell'area non si rinvenivano le prime opere di raccolta delle acque, che sono risultate assolutamente inadeguate e che sono poi state completamente sostituite con i canali filtranti.

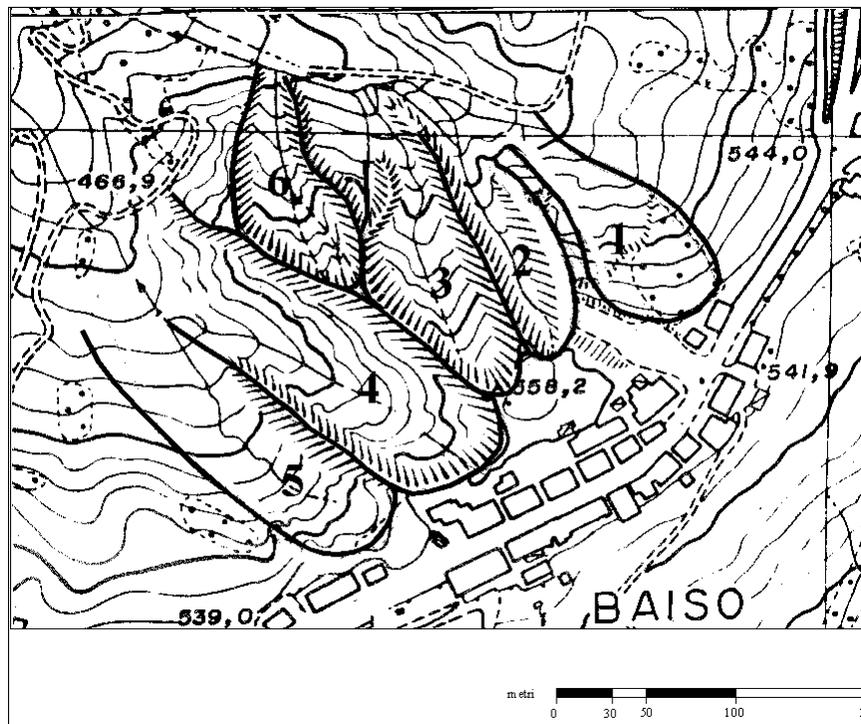


Fig. 9 – Rappresentazione delle sei vallecicole calanchive costituenti il Vallone Toschi nella periferia nord-ovest del capoluogo del Comune di Baiso (estratto Carta Tecnica Regionale Sezioni n°218120 Baiso-218080 Viano)

Fig. 9 – Sketch of the six badland valleys making up “Vallone Toschi” NW of Baiso (after Carta Tecnica Regionale, Sections nos. 218120 Baiso and 218080 Viano)



a



Fig. 10 – Vallone Toschi visto da Ovest. a) Panoramica superiore delle vallecicole calanchive; b) Particolare della vallecicola calanchiva n° 4  
Fig. 10 – “Vallone Toschi” seen from W: a) upper view of badland areas; b) detail of badland area no. 4

Il Vallone Toschi è costituito da sei vallecicole calanchive principali orientate prevalentemente sud-est/nord-ovest (Figg. 9 e 10) che costituiscono la testata di una valle più ampia, avente lunghezza di circa 1 km, che confluisce direttamente in sinistra idraulica del T. Tresinaro.

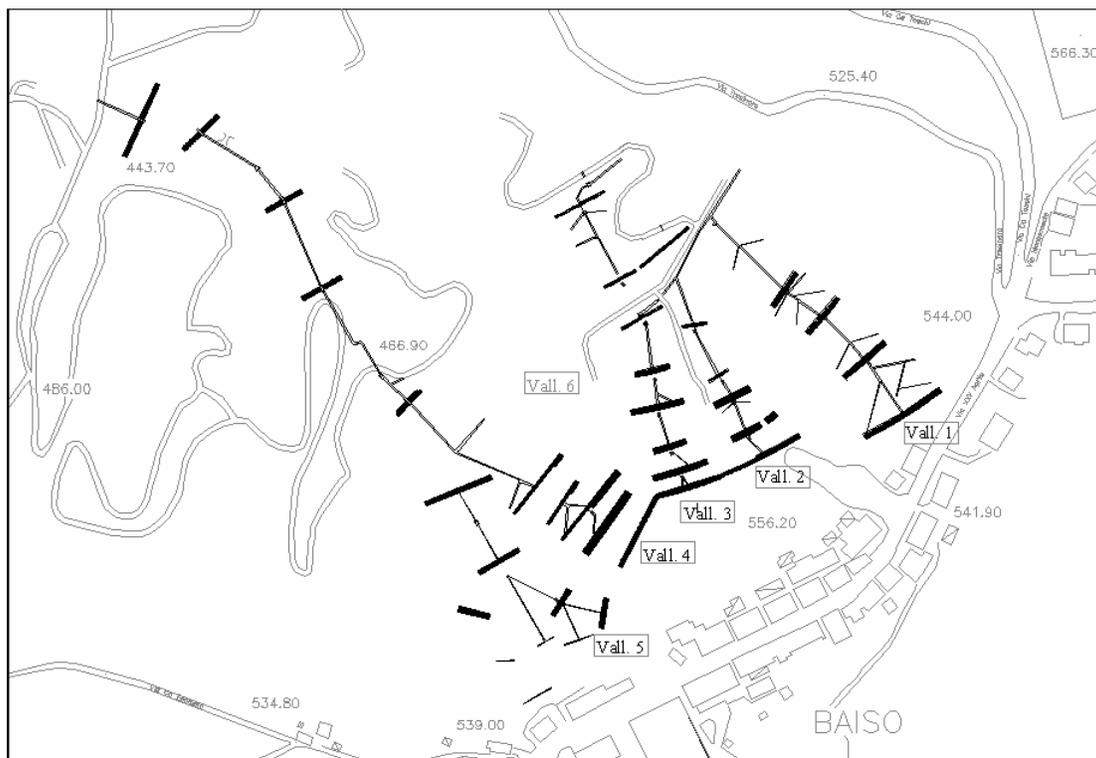
Per la sistemazione di queste vallecicole calanchive è stata applicata la procedura di intervento sopra descritta, che ha visto l’associazione di opere di contenimento con la tecnica dei canali filtranti. I lavori di sistemazione delle vallecicole allo stato attuale presentano un diverso grado di

avanzamento anche se i lavori principali sono ormai terminati (Fig. 11).

Nella vallecicola n. 1 i lavori di sistemazione sono terminati da tempo, già prima della fine degli anni ‘90 (Fig. 11). Il consolidamento strutturale della vallecicola, iniziato nel 1997, è stato ultimato nel corso dell’anno 1998; in relazione al profilo naturale e all’inclinazione del nuovo profilo di progetto, pari a circa  $10^{\circ}$ - $12^{\circ}$ , è risultata necessaria l’esecuzione di quattro file di gabbionate (Figg. 12); quella superiore, costituita da tre ordini di gabbioni e

conformata ad arco, è stata fondata, a causa dell'eccessiva profondità del substrato inalterato (oltre 7 m), su una berlinese costituita da doppia fila di pali in cemento armato

( $\varnothing$  1000 mm), lunghi al massimo 15 m, disposti a quinconce e collegati in testa ad una trave e tirantati.



**LEGENDA:**



Fig. 11 – Rappresentazione delle opere realizzate, ad oggi, per il consolidamento del Vallone Toschi. Legenda: 1) canali filtranti; 2) gabbionate

Fig. 11 – Sketch of the works implemented to date for stabilisation of "Vallone Toschi". Legend: 1) filtering channels; 2) gabions



a



b

Fig. 12 – Sistemazione vallecchia n° 1: a) Fase intermedia dei lavori (anno 1997); b) Situazione dopo tre anni dalla fine lavori (anno 2001)  
Fig. 12 – Remedial measures in area no. 1: a) intermediate phase of works (1997); b) situation after three years from completion of works (2001)

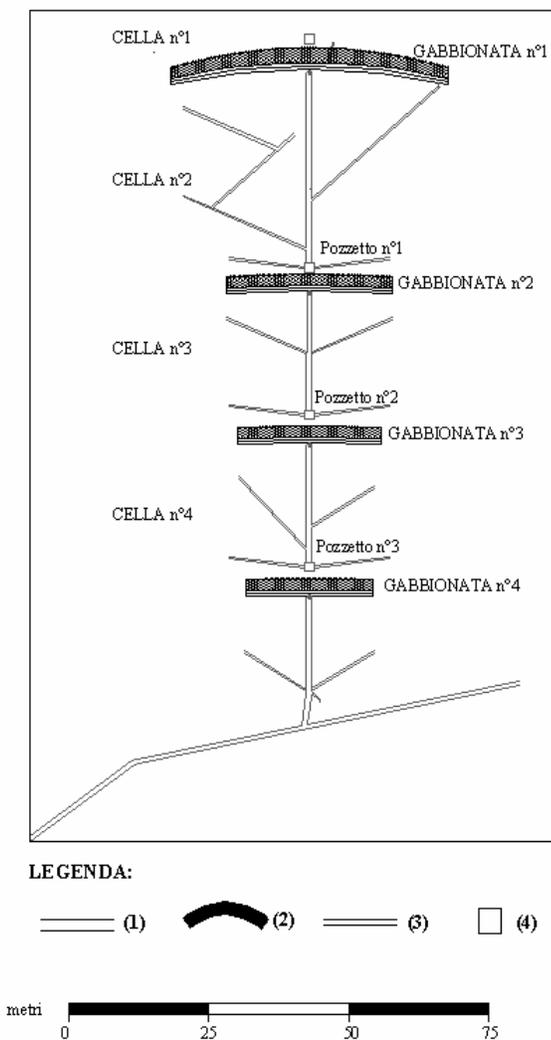


Fig. 13 – Rappresentazione delle celle morfologiche (vallecola n° 1). Legenda: 1) canale filtrante collettore; 2) gabbionata; 3) canale filtrante secondario o laterale; 4) pozzetto

Fig. 13 – Sketch of morphological cells (area no. 1). Legend: 1) main filtering channel; 2) gabion; 3) lateral filtering channel; 4) drain well

Le restanti gabbionate, caratterizzate sempre da tre ordini, sono state invece fondate su trave fornita di setti in calcestruzzo leggermente armati, profondi al massimo 3 m, in relazione alla minore profondità del substrato. Tutte le gabbionate sono state realizzate secondo lo schema riportato nella Figura 3.

Tutte le acque raccolte dalle celle confluiscono, infine, al pozzetto n° 3 dal quale, attraverso la condotta di scarico, vengono portate a valle fino a confluire nel reticolo idrografico naturale.

Il reticolo dei canali filtranti così organizzato ha dimostrato la massima funzionalità, annullando completamente i processi erosivi superficiali. Per arrivare a tale condizione di equilibrio si è reso necessario un periodo

di osservazione di alcuni mesi dopo l'esecuzione delle opere, durante il quale è stato possibile riconoscere i punti di debolezza del sistema (connessi con l'eccessivo interesse dei canali filtranti realizzati in alcune celle), che sono stati poi eliminati con l'esecuzione di ulteriori canali filtranti a completamento della rete drenante.

Dopo la sistemazione delle opere di regolazione delle acque superficiali e dopo aver eliminato i fenomeni erosivi, si è avviata, già a partire dall'anno 2000, l'opera di impianto della copertura vegetale attraverso la piantumazione di talee di tamerice e la sola dispersione manuale di sementi polifite, con ottimi risultati dal punto di vista vegetazionale. Infatti, dopo circa otto anni, la vallecola n° 1 risulta completamente stabilizzata e sufficientemente colonizzata dalla vegetazione (Fig. 14).

Completate le opere strutturali, sono stati eseguiti i lavori di costruzione della rete di raccolta e smaltimento delle acque, adottando la tecnica dei canali filtranti descritta nella presente nota. Terminati i lavori di canalizzazione delle acque alla fine degli anni '90, sono stati successivamente avviati i lavori di impianto della copertura vegetale.

Per ottimizzare la raccolta delle acque e la sistemazione delle opere strutturali, la vallecola in esame è stata suddivisa in quattro celle morfologiche, delimitate dalle singole gabbionate (Figg. 12b e 13). La cella superiore è delimitata a monte dalle prime opere di urbanizzazione dell'abitato e, a valle, dalla prima gabbionata ad arco; in questa cella la regimazione delle acque è affidata al sistema di raccolta delle diverse aree cortilive realizzate dai privati. Nelle celle successive, con riferimento allo schema illustrato in Figura 6, sono stati realizzati un canale filtrante principale con funzione di collettore, al quale si collegano i canali filtranti laterali in numero adeguato alla superficie e geometria delle celle stesse. Sul fondo del canale collettore è stato collocato un tubo cieco per il trasporto delle acque raccolte dalle celle a monte.

Con gli stessi criteri e procedure, viene attuata, procedendo da nord verso sud, la sistemazione delle restanti vallecole, mediante la costruzione di gabbionate in numero necessario a conferire al calanco il profilo di fondo di progetto, e la conseguente suddivisione della vallecola in celle morfologiche, ove si provvede alla successiva esecuzione della rete di canali filtranti, ed infine al ripristino della vegetazione.

Allo stato attuale, tutti gli interventi di sistemazione possono essere considerati ormai completati anche nelle vallecole 2 e 3, dove sono stati già realizzati anche i lavori per un iniziale ripristino della copertura vegetale, con piantumazione di talee di tamerice (Fig. 15).

Nelle restanti vallecole laterali poste più ad ovest, sono già stati ultimati tutti i lavori di consolidamento strutturale e avviata la realizzazione della rete dei canali filtranti; nel breve periodo si procederà quindi al rinverdimento delle pendici, per completare il consolidamento dell'intero Vallone Toschi.



Fig. 14 – Stato attuale della vallecicola n° 1

*Fig. 14 – Present situation of badland area no. 1*



Fig. 15 – Stato attuale della vallecicola n° 2 (sinistra) e della vallecicola n° 3 (destra)

*Fig. 15 – Present situation of badland areas nos. 2 (left) and 3 (right)*

### **Consolidamento di Cassinago**

Le aree circostanti l'abitato di Cassinago sono interessate da numerosi ed importanti fenomeni di dissesto: in particolare, assume notevole rilievo, per dimensioni e caratteristiche evolutive, il dissesto posto a valle della periferia nord dell'abitato (Fig. 16), che a metà degli anni '90 ha causato crolli, anche totali, di infrastrutture ed abitazioni, e che è stato oggetto degli interventi di consolidamento realizzati alla fine degli anni '90 dall'STB-RE.

Il STB-RE ha iniziato ad occuparsi del fenomeno di dissesto che coinvolge l'abitato di Cassinago nel corso dell'anno 1995, a seguito di segnalazione di danni da parte del Comune di Baiso. Si tratta in ogni caso di un fenomeno storico, attivo da molto tempo, caratterizzato da lunghi

periodi di inattività. Le prime notizie storiche di eventi significativi si riferiscono infatti al 1821 (Almagià, 1907).

Dal rilievo geologico dell'area, realizzato a seguito dell'avvio dello studio, è emerso che la dorsale su cui si colloca l'abitato di Cassinago è costituita superiormente da areniti a marcata componente carbonatica (caratterizzate da una buona permeabilità efficace primaria e secondaria) ed inferiormente da litotipi pressoché impermeabili quali marne e marne argillose generalmente massive e da peliti a stratificazione sottile. La giacitura degli strati, osservabile in alcuni affioramenti, determina un assetto delle formazioni a reggipoggio, con pendenza variabile tra 30° e 50°. Alla base della suddetta successione litologica, si trovano litotipi argillosi in facies di *mélange*, estremamente impermeabili.

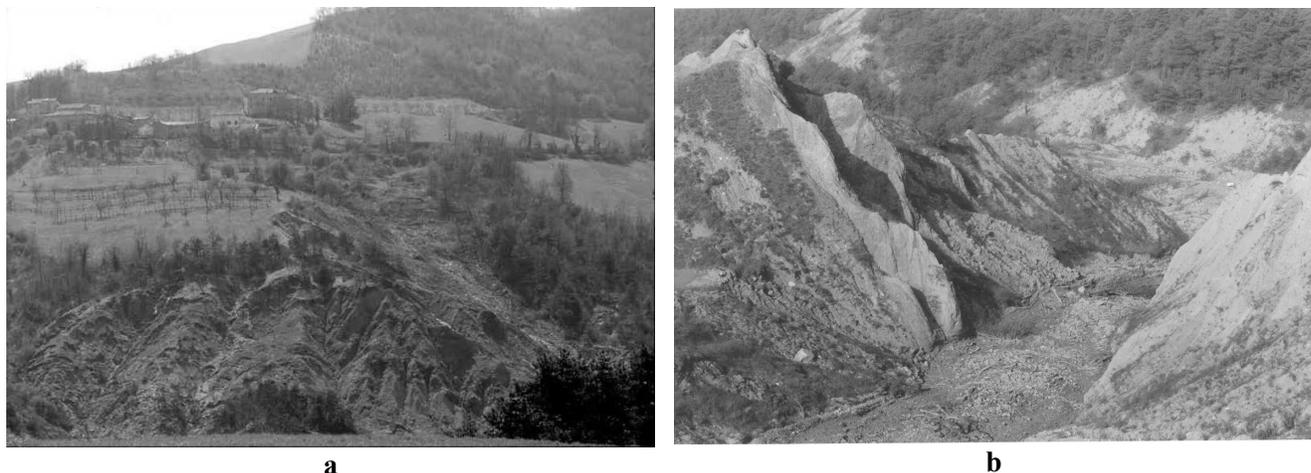


Fig. 16 – Dissesto presente sulla periferia nord dell’abitato di Cassinago di Baiso (anno 1995): a) vista panoramica da valle; b) particolare visto da monte

*Fig. 16 – Disarray processes at the northern boundary of Cassinago di Baiso (year 1995): a) general view from downhill; b) detail seen from uphill*

In corrispondenza dell’abitato di Cassinago, i contatti e i rapporti geometrici tra le diverse formazioni sono mascherati da un potente deposito detritico corrispondente al probabile accumulo di un processo gravitativo antico, che ha coinvolto i litotipi calcarenitici presenti a monte. Tale accumulo detritico è costituito da blocchi di areniti a marcata componente carbonatica immersi in una matrice sabbiosa, sabbioso-limoso che, nel complesso, risultano avere un elevato grado di permeabilità.

Il dissesto che minaccia la sicurezza dell’abitato di Cassinago si sviluppa in modo composito (Cruden & Varnes, 1996), associando uno scivolamento di terra nella parte superiore del versante a fenomeni di colata nella parte inferiore del versante che si sviluppano all’interno delle vallecicole calanchive. La frana superiore ha una lunghezza di circa 250 m e larghezza di circa 150 m e coinvolge materiale costituente la copertura detritica di paleofrana su cui si colloca l’abitato; il piano di scivolamento risulta profondo tra 10 e 20 m e affiora all’altezza del coronamento della vallecicola calanchiva. Questa situazione morfologica impedisce la formazione di un piede di frana, la quale, pertanto, resta costantemente sospesa sul coronamento della vallecicola calanchiva. Tale vallecicola rimobilizza poi il materiale detritico progressivamente riversato in essa dalla frana sovrastante. Di conseguenza, il detrito scaricato dalla frana sulla sommità del calanco, unitamente al detrito derivante dalla degradazione delle argilliti su cui il calanco si imposta, viene completamente saturato dalle acque che sgorgano dalle numerose sorgenti permanenti poste al contatto tra il corpo detritico di paleofrana e le sottostanti argilliti, dando luogo ad una colata di terra di spessore variabile, che annualmente si riattiva nel periodo invernale.

L’ultimo episodio parossistico, che ha interessato sia lo scivolamento superiore che la colata inferiore, ha avuto inizio nel corso dell’autunno del 1995 ed è andato

evolvendosi negli anni successivi. Dopo i primi sopralluoghi e accertamenti dell’entità del fenomeno, eseguiti successivamente alla segnalazione del Comune di Baiso nel 1995, il STB-RE ha avviato lo studio del fenomeno di dissesto. In primo luogo, è stata eseguita un’analisi fotointerpretativa di foto aeree degli anni 1978 e 1994 alla scala 1:13.000. Dall’esame è emerso che nei 16 anni di tempo trascorsi tra le due riprese aeree il dissesto subì una evoluzione nel complesso modesta. Il confronto tra la situazione dell’anno 1994 e quella evidenziata dai rilievi eseguiti alla data della stesura del progetto di consolidamento (1997) evidenzia invece una evoluzione accelerata del dissesto negli ultimi anni. A partire dall’anno 1996, per verificare la geometria del dissesto e l’attendibilità delle ipotesi avanzate circa le dinamiche di versante in atto, sono state progettate e realizzate dal STB-RE alcune campagne di indagini geognostiche. Le diverse indagini, succedutesi nel tempo, anche allo scopo di dare risposte ai quesiti che progressivamente si ponevano all’attenzione dei tecnici incaricati, hanno visto l’esecuzione, sul corpo di frana e in un significativo intorno, di prospezioni geofisiche (sismica a rifrazione e geoelettrica) e di sondaggi geognostici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, utilizzati, oltre che per la ricostruzione litostratigrafica del sottosuolo, per la raccolta di campioni da esaminare, per l’esecuzione di prove in foro e per la taratura delle stesse indagini geofisiche. I sondaggi hanno pure consentito la posa in opera di strumentazione di monitoraggio, comprendente quattro piezometri a tubo aperto e altrettanti tubi inclinometrici. Alcune indagini, infine, sono state realizzate all’interno dell’ampia area calanchiva, per accertare lo spessore delle colate di terra presenti sulla vallecicola principale e gli spessori delle coperture in generale, allo scopo di poter dimensionare adeguatamente le opere da realizzare in tale ambito

geomorfologico. In particolare sono state realizzate numerose prove penetrometriche dinamiche ed alcuni stendimenti di sismica a rifrazione lungo l'asse longitudinale della vallecchia calanchiva e lungo alcune sezioni trasversali, coincidenti con le sezioni di imposta di eventuali opere di contenimento. In relazione alle notevoli modificazioni morfologiche subite dal versante, a seguito della prolungata evoluzione del dissesto, l'indagine ha previsto anche il rilievo topografico del versante interessato dai fenomeni e dalle eventuali future opere di consolidamento, nonché la restituzione di una carta topografica di dettaglio.

Le letture dei tubi inclinometrici collocati sul corpo di frana hanno individuato il piano di scorrimento oltre la base del complesso detritico, ad una profondità variabile tra 16 e 18 m (quindi all'interno del substrato argillitico) ed hanno registrato velocità di spostamento medie, nei periodi di massima attività, di circa 0,5 cm/giorno, che consentono di classificare la frana come "lenta" (Cruden & Varnes, 1996).

Le misure piezometriche eseguite hanno evidenziato la presenza di una falda freatica monostrato, confinata inferiormente dal substrato di natura impermeabile, che permea variamente il corpo di frana in relazione all'intensità degli apporti meteorici, nonché una notevole trasmissività dell'acquifero che rende molto contenuti i tempi di risposta della falda rispetto agli eventi meteorici. L'insieme della strumentazione di monitoraggio (piezometri ed inclinometri) ha rilevato l'instaurarsi di elevate pressioni neutre entro l'ammasso detritico costituente il corpo di frana, nel caso di forte e prolungata piovosità, e la conseguente immediata attivazione dei processi gravitativi. La falda, caratterizzata da rapide oscillazioni piezometriche, alimenta le numerose sorgenti che si collocano lungo le aree calanchive, al contatto tra il corpo detritico e gli affioramenti argillitici.

Le indagini dirette ed indirette eseguite nell'area calanchiva hanno confermato il modesto spessore della colata di terra e delle coperture in generale, fatta eccezione del settore superiore del calanco, dove, anche a seguito dell'apporto di materiale dovuto alla frana, la copertura detritica assume spessori maggiori.

Alla luce delle indagini condotte è apparso pertanto necessario intervenire per la contestuale stabilizzazione sia della frana per scivolamento nella parte superiore del versante, che dell'area calanchiva sottostante.

Per la stabilizzazione della frana nella parte superiore del versante sono state progettate e realizzate opere drenanti che permettessero il drenaggio pressoché totale del corpo di frana e un'opera di sostegno strutturale. Questa scelta si è basata su verifiche di stabilità all'equilibrio limite del pendio lungo l'asse longitudinale del corpo di frana eseguite utilizzando il metodo di Sarma (1979) sviluppato e modificato successivamente da Hoek & Bray (1981). La verifica in condizioni geometriche e idrogeologiche pre-intervento, determinate sulla base delle evidenze raccolte

tramite le indagini suddette, ha permesso di determinare in back analysis i parametri di resistenza mobilizzati nel versante, che sono stati conseguentemente utilizzati per la verifica del versante con diverse condizioni idrogeologiche. È emerso che significativi abbassamenti della falda portavano il fattore di sicurezza ad un valore di 1,12. Per raggiungere il valore previsto dalla normativa è risultato necessario introdurre un carico stabilizzante pari ad 86 t/m, fornito da un'opera di sostegno strutturale da collocare circa 20 m a valle dell'estremo inferiore della frana.

Per il drenaggio profondo del corpo di frana sono state esaminate varie ipotesi di intervento in grado di fornire tale risultato, e la scelta è stata infine indirizzata verso la soluzione degli schermi di pozzi drenanti ispezionabili ( $\varnothing$  1500 mm). Tale tecnologia, oltre a permettere di raggiungere le profondità necessarie, ovvero 2-3 m entro il substrato, posto in questo caso alla profondità massima di 18 m, consente di realizzare opere molto efficaci, ispezionabili e di facile manutenzione. Sulla base delle caratteristiche di permeabilità e trasmissività dei terreni, attraverso l'applicazione della formula di Darcy, è stata prevista l'esecuzione, nella parte intermedia del corpo di frana, di due schermi di pozzi drenanti e ispezionabili, distanti circa 18 m e con interasse pari a 6 m. Lo smaltimento delle acque drenate dai pozzi è stato affidato ad uno schermo di scarico costituito da 6 pozzi drenanti ispezionabili posti, per esigenze esecutive, ad interasse variabile tra i 7 e i 19 m, per un totale di 30 pozzi. 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. Per l'opera di sostegno della frana è risultata funzionale ed efficace la scelta di una paratia sormontata da cinque ordini di gabbioni. Sulla base dell'entità del carico stabilizzante, desunto dalle verifiche di stabilità e delle sollecitazioni previste sulla paratia, è stata progettata una paratia leggermente arcuata, avente uno sviluppo pari a 80 m, costituita da pali trivellati ( $\varnothing$  1000 mm) disposti a quinconce, con interasse pari ad 1,2 m e profondità massima di 14,5 m rispetto al piano di lavorazione, tirantata in sommità con tiranti dimensionati per una trazione massima di 75 t, posti ad interasse medio di 1,8 m.

Per la stabilizzazione dell'area calanchiva nella parte inferiore del versante sono state invece adottate le tecniche descritte nella prima parte della presente nota ed applicate anche al caso del Vallone Toschi. In particolare, è stata prevista la riprofilatura della vallecchia principale attraverso la realizzazione di sei gradoni, le cui alzate sono state sostenute mediante la realizzazione di altrettante gabbionate caratterizzate da un numero diverso di ordini in relazione all'altezza del gradone da contenere (Fig. 17).

In relazione alla forma della vallecchia calanchiva, che si restringe progressivamente verso valle, le dimensioni delle gabbionate risultano progressivamente decrescenti nella direzione di massima pendenza.



Fig. 17 – Panoramica delle opere realizzate nel 2002

*Fig. 17 – General view of works implemented in 2002*

La paratia sormontata da gabbionata, realizzata sul ciglio del calanco per contribuire al consolidamento della frana di monte, coincide anche con la prima opera di modellazione del calanco.

Le restanti gabbionate si sviluppano verso valle e, in relazione alla progressiva riduzione dello spessore delle coperture e della colata presente sul fondo valle, sono state provviste di fondazioni ordinarie, con setti di ammorsamento in calcestruzzo leggermente armato.

Terminata l'esecuzione delle opere di contenimento strutturale, nella vallecchia calanchiva sono stati avviati i

lavori di regolazione delle acque superficiali necessari per la stabilizzazione della coltre; in relazione ai risultati precedentemente ottenuti in ambiti geomorfologici analoghi e secondo le indicazioni riportate nella presente nota, si è proceduto gradualmente alla esecuzione di un reticolo di canali filtranti preposto alla raccolta ed allontanamento delle acque di scorrimento superficiale, con riferimento allo schema riportato in Fig. 6 e, successivamente, allo sviluppo di una adeguata copertura vegetale per eliminare ogni possibile fenomeno di erosione.



Fig. 18 – Situazione attuale  
*Fig. 18 – Present situation*

Tutti i lavori suddetti sono stati inseriti in tre progetti stralci di importo complessivo pari a circa € 1.340.000,00 realizzati nel corso delle estati 2000-2003, quando le condizioni meteorologiche hanno reso accessibili le aree di cantiere (Fig. 18).

Prima dell'ultimazione delle opere principali, si è provveduto ad integrare la rete di monitoraggio inclinometrico e piezometrico, danneggiata dall'evoluzione della frana e dalle attività di cantiere, allo scopo di controllare il comportamento complessivo del versante nel tempo, oltre all'efficacia dell'intervento di consolidamento eseguito. Le letture inclinometriche effettuate successivamente all'ultimazione lavori hanno indicato la pressoché totale assenza di movimenti sia sul corpo di frana che nella vallecchia calanchiva, per cui il versante può essere considerato stabilizzato.

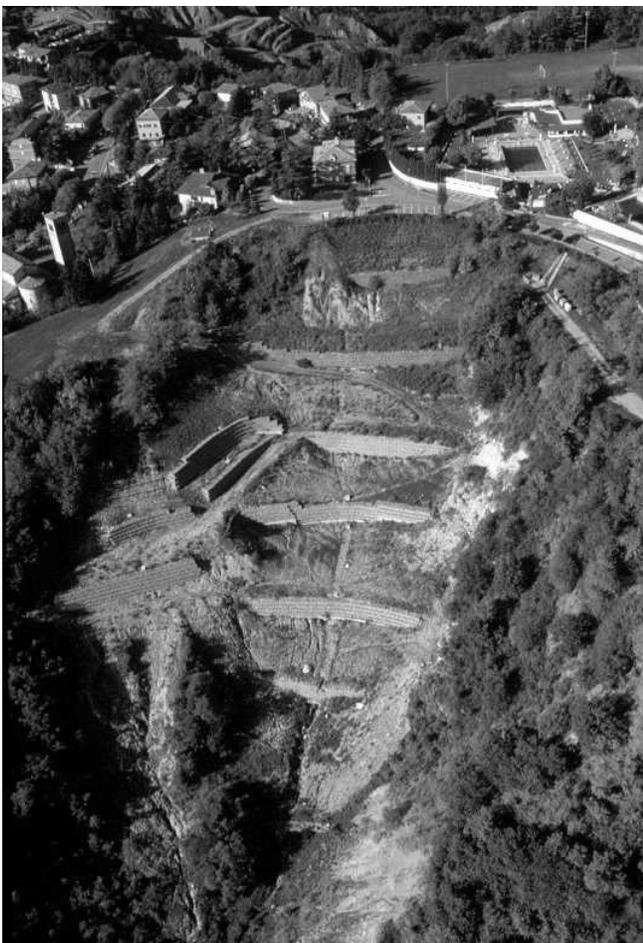
### Conclusioni

Nell'ambito dell'attività pluriennale di consolidamento delle aree calanchive dell'Appennino reggiano, il Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia ha potuto affinare

un'efficace metodologia di intervento, attraverso la verifica e la comparazione della funzionalità delle diverse tipologie di opere più frequentemente utilizzate in tali contesti morfologici e litologici, con particolare riferimento alle opere preposte al consolidamento strutturale delle vallecchie calanchive e quelle preposte alla regimazione delle acque, che presentano spesso risultati incompleti e contrastanti.

Per la conservazione di un profilo stabile nelle vallecchie calanchive particolarmente acclivi è risultata molto efficace la tecnica di sistemazione a gradoni, da contenere mediante gabbionate. Tali opere, sia per caratteristiche proprie generali che per l'elevato grado di specializzazione raggiunto, presentano il miglior grado di funzionalità e di conservazione nel tempo e un effetto impattante assolutamente trascurabile.

Per la stabilizzazione dei suoli nell'ambito di vallecchie calanchive consolidate strutturalmente è risultata assolutamente fondamentale la ricerca di soluzioni di regimazione delle acque di scorrimento superficiale in grado di garantire la sostanziale inibizione dei processi erosivi.



a



b

Fig. 19 – Situazione attuale. a) Giuggiarese; b) Castagneto (foto G. Bertolini)

Fig. 19 – Present situation. a) Giuggiarese; b) Castagneto (photo G. Bertolini)

L'esperienza fin qui acquisita ha confermato che la tecnica dei canali filtranti descritta nella presente nota è risultata la più efficace, affidabile e duratura per il controllo dei processi erosivi superficiali nelle aree calanchive dell'Appennino reggiano.

Tra i vantaggi più significativi della tecnica dei canali filtranti, è da annoverare, oltre alla buona funzionalità delle opere e ai costi e tempi di esecuzione estremamente contenuti, la trascurabile esigenza di manutenzione, peraltro destinata ad esaurirsi in brevissimo tempo, diversamente dalle altre opere tradizionali di regimazione delle acque, che richiedono notevoli investimenti di manutenzione e tendono a perdere la loro funzionalità nel tempo.

I canali filtranti, invece, richiedono un controllo di adeguatezza dimensionale della rete drenante dopo la prima stagione piovosa successiva alla esecuzione dei lavori: tale controllo consiste nella individuazione di eventuali processi di erosione residui prodottisi in seguito alle prime piogge per l'insufficiente sviluppo locale della rete drenante. L'eventuale inadeguatezza del sistema può essere corretta rapidamente e definitivamente previo infittimento della rete filtrante nelle aree ove essa è risultata carente.

Interventi di consolidamento mediante l'applicazione delle tecniche illustrate nella presente nota sono in corso in altre aree calanchive della Provincia, tra le quali merita ricordare, sempre nel comune di Baiso, l'area calanchiva Giorgella, situata nel capoluogo (Fig. 19a) e il calanco posto a nord dell'abitato di Castagneto (Fig. 19b).

In questi contesti geomorfologici risultano pressoché ultimati i lavori di consolidamento strutturale di tutte le

vallecole e sono in corso di completamento le reti di raccolta delle acque mediante l'applicazione delle tecniche dei canali filtranti. Entro breve tempo potranno quindi essere avviati i lavori di ripristino della copertura vegetale.

Sembra opportuno infine ribadire che la stabilizzazione dei suoli mediante l'utilizzo della tecnica dei canali filtranti è risultata efficace anche nell'ambito del consolidamento di grandi corpi di frana, caratterizzati da coltri di alterazioni di natura argillosa e argilloso-limosa interessate da processi erosivi connessi a ruscellamento diffuso e/o concentrato come, nella provincia di Reggio Emilia, le grandi frane di Magliatica (nei comuni di Carpineti e Baiso) e di Lusignana (nei comuni di Villaminazzo e Toano), recentemente consolidate anche con fondi della Protezione Civile finanziati ai sensi dell'O.M. 3090/2000 e successive integrazioni.

### Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il Prof. A. Colombetti per il prezioso contributo fornito alla stesura del testo, attraverso consigli ad approfondite discussioni; il Prof. G. Tosatti per la lettura critica del manoscritto, che ha consentito di perfezionare l'impostazione del testo finale; tutti i collaboratori dell'area Assetto Idrogeologico del Servizio Tecnico Bacini Enza, Panaro e Secchia con i quali sono state condivise le esperienze e le sperimentazioni che hanno permesso di affinare le tecniche di intervento illustrate e, infine, la Regione Emilia-Romagna che ha autorizzato l'utilizzo dei dati pubblicati.

### Bibliografia

Agenzia Nazionale Per La Protezione dell'Ambiente – ANPA, 2002. Atlante delle opere di sistemazione dei versanti, primo aggiornamento, Manuali e Linee Guida, 10, 125 pp.

Almagià R., 1907. Studi geografici sopra le frane in Italia. Mem. Soc. Geogr. It., 13.

Bertolini G., Pellegrini M., Tosatti G. (eds.) 2001. Le frane della Regione Emilia-Romagna, oggetto di interventi di Protezione Civile nel periodo 1994-1999. Quaderni di Geologia Applicata 8(1-2), 428 pp.

Bettelli G., Panini F., 1987. I Mélanges dell'Appennino settentrionale dal T. Tresinaro al T. Sillaro. Mem. Soc. Geol. It., 39, 187-214.

Bettelli G., Bonazzi U., Panini F., 1987a. Schema introduttivo alla geologia delle Liguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe. Mem. Soc. Geol. It., 39, 91-125.

Bettelli G., Bonazzi U., Fazzini P., Panini F., 1987b. Schema introduttivo alla geologia delle Epiliguridi dell'Appennino modenese e delle aree limitrofe. Mem. Soc. Geol. It., 39, 215-244.

Citrini D., Nosedà G., 1987. *Idraulica*. 2° ed., Editrice Ambrosiana, Milano.

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.

Hjulström F., 1935. Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Univ. Uppsala Geol. Inst., Bull. 25, Uppsala.

Hoek E., Bray J.W., 1981. Rock slope engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, Revised 3<sup>rd</sup> edition, London.

Regione Emilia-Romagna, 1982. Carta Geologica dell'Appennino emiliano-romagnolo 1:10.000. Resp. R. Pignone, Ed. SELCA, Firenze.

Sarma S.K., 1979. Stability Analysis of Embankments and Slopes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, ASCE, Vol. 105, No. GT 12, 1511-1524.