

2021 FONDO
2027 EUROPEO
SVILUPPO
REGIONALE



**BANDO
IDROGEO**

PR FESR 21-27 PIEMONTE AZIONE II.2IV.1

Recupero e difesa del territorio nel rispetto degli habitat e degli ecosistemi esistenti

Interventi di sistemazione idrogeologica di situazioni di dissesto in ambito montano, collinare e ripariale

REPORT

Contrastare il dissesto idrogeologico con tecniche naturalistiche, tradizionali e integrate

Principi e scelte operative



L'EUROPA INVESTE SUL PIEMONTE, IL PIEMONTE INVESTE SU DI TE

a cura di
Direzione Ambiente, Energia e Territorio
Settore Sviluppo Sostenibile, Biodiversità
e Aree Naturali

- 3** Introduzione: gli obiettivi del FESR 2021-2027 e la Misura II.2iv.1
- 7** Le cause del dissesto idrogeologico
- 10** Classificazione dei fenomeni franosi
- 11** Frane da crollo in roccia
- 12** Frane per scivolamento rotazionale evolventi in colata
- 14** Le frane da scivolamento planare
- 17** Frane da fluidificazione superficiale del suolo
(colamenti rapidi – *soil slip*)
- 19** Movimenti di massa (*debris flow – mud flow – rock avalanche*)
- 21** Deformazioni gravitative profonde
- 23** Applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica
alle principali tipologie di dissesto
- 25** Ingegneria Naturalistica e tecniche *Nature Based Solutions*
- 27** Operazioni preliminari: rimodellamento, riprofilatura
e consolidamento di versanti, fronti rocciosi e scarpate
- 31** Tecniche naturalistiche di sistemazione idrogeologica e territoriale

Introduzione: gli obiettivi del FESR 2021-2027 e la Misura II.2iv.1

Il Programma Regionale (PR) della Regione Piemonte, cofinanziato dal Fondo Europeo di Sviluppo Regionale (FESR) per il periodo 2021-2027, sostiene gli investimenti per la crescita e l'occupazione in coerenza con lo scenario delineato dall'Agenda 2030, dal Green New Deal, da Next Generation EU e dal Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima (PNIEC).

La Commissione Europea ha individuato i seguenti **obiettivi di policy** o **strategici** (OP), sui quali sono declinate le priorità del PR FESR della Regione Piemonte:

- OP1** Un'**Europa più competitiva e intelligente**, attraverso la promozione di una trasformazione economica intelligente e innovativa;
- OP2** Un'**Europa resiliente**, più verde e a basse emissioni di carbonio, attraverso la promozione di una transizione verso un'energia pulita ed equa, di investimenti verdi e blu, dell'economia circolare, dell'adattamento ai cambiamenti climatici e della gestione e prevenzione dei rischi;
- OP3** Un'**Europa più connessa**, attraverso il rafforzamento della mobilità e della connettività regionale;
- OP4** Un'**Europa più sociale e inclusiva**, attraverso l'attuazione del Pilastro europeo dei diritti sociali;
- OP5** Un'Europa più vicina ai cittadini, attraverso la promozione dello sviluppo sostenibile e integrato delle zone urbane, rurali e costiere e delle iniziative locali.

È stato stabilito, inoltre, che ciascuno Stato membro debba concentrare almeno il 30 % della propria dotazione FESR sull'**OP2**, ossia una **transizione più verde** e a **basse emissioni di carbonio** e un'**Europa resiliente**.

In questo contesto Regione Piemonte ha individuato la Misura di Intervento denominata ***Interventi di sistemazione idrogeologica finalizzati anche alla resilienza dei territori nelle Aree Protette, nei Siti della Rete Natura 2000 e sulla rete sentieristica di collegamento con il sistema delle Aree Protette della Regione Piemonte.***

La Misura finanzia interventi che contribuiscono globalmente alla **prevenzione del rischio idrogeologico** attraverso la realizzazione di opere di stabilizzazione, consolidamento di versanti e difesa dall'attività erosiva di rii e torrenti, e con la messa in sicurezza della viabilità locale e sentieristica.

Gli interventi devono prevedere **opere a basso o nullo impatto ambientale**, che si avvalgono soprattutto delle tecniche di ingegneria naturalistica, individuate in siti di rilevante interesse ecologico e naturalistico, che richiedono quindi particolari cautele di intervento a causa della vulnerabilità ambientale.

I beneficiari della Misura sono i seguenti soggetti pubblici presenti sul territorio della Regione Piemonte:

- i soggetti gestori delle aree naturali protette;
- l'Ente di gestione dei Sacri Monti;
- gli Enti Parco Nazionali;
- le Unioni Montane.

La dotazione finanziaria totale è pari a 14.776.000 euro e la sua gestione è stata affidata al Settore regionale *Sviluppo sostenibile, biodiversità e aree naturali* della Direzione Ambiente, Energia e Territorio.

Per la selezione e la valutazione dei progetti, il cui importo ammissibile è compreso tra i 210.000 e i 500.000 euro, è stata prevista una procedura di tipo valutativo attraverso il sistema del **Bando a sportello**: le domande vengono esaminate da una commissione esaminatrice in ordine cronologico di invio telematico, sulla base di una griglia di criteri di valutazione prevista dal Bando stesso. Il superamento della soglia minima di punteggio conseguita rende i progetti ammissibili a finanziamento e consente l'esame del flusso di istanze a mano a mano che queste vengono caricate sulla piattaforma informatica.

Il primo sportello del Bando, dal titolo abbreviato **IDROGEO** (Interventi di sistemazione idrogeologica di situazioni di dissesto in ambito montano, collinare e ripariale), è rimasto aperto dal 23 maggio al 22 novembre 2023, con una dotazione finanziaria di 5.000.000 di euro.

In realtà, l'esaurimento anticipato del budget ha richiesto una chiusura prematura dello sportello per questa annualità: un vero successo, che testimonia la necessità di risorse in cui versavano gli Enti per far fronte sia a opere di ripristino che di prevenzione e tutela del territorio regionale più selvaggio e ricco dal punto di vista del patrimonio naturale.

Sono stati ammessi a finanziamento:

- il consolidamento della parete rocciosa soprastante la strada di accesso al Parco del Marguareis, in Comune di Chiusa Pesio, all'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime;
- la sistemazione della frana soprastante la Valle dei Rododendri nella Riserva Naturale della Burcina, in Comune di Pollone e Biella, all'Ente di Gestione delle Aree Protette del Ticino e Lago Maggiore;
- interventi di sistemazione, consolidamento e regimazione delle acque lungo la rete sentieristica del Bosco del Vaj in Comune di Castagneto, all'Ente di Gestione delle Aree Protette del Po Piemontese;
- il ripristino e la messa in sicurezza della viabilità forestale che porta alla sommità del Monte Fenera, in Comune di Valduggia e Borgosesia, all'Ente di Gestione delle Aree Protette della Val Sesia;
- interventi urgenti per il contrasto al dissesto generato dal Rio Cipollina in Valle Botto, all'Ente di Gestione delle Aree Protette del Paleontologico Astigiano;
- lavori di ripristino dei dissesti e miglioramento della sentieristica all'interno del Parco della Mandria, all'Ente di Gestione delle Aree Protette dei Parchi Reali;
- interventi di sistemazione idraulica e consolidamento di pareti rocciose nei territori di Entracque, Valdieri e Roaschia, all'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Marittime; lavori di consolidamento e opere di protezione lungo la pista forestale di collegamento Devero – Strevò – Crampiolo in Comune di Baceno, all'Ente di Gestione delle Aree Protette dell'Ossola;
- lavori di sistemazione frana e ripristino viabilità sentieristica del Colle della Vecchia e del Sentiero dei Franchi, all'Ente di Gestione delle Aree Protette delle Alpi Cozie;
- interventi di ripristino e consolidamento della rete sentieristica denominata "Anello di Bassa Valle" all'Unione Montana Valle Stura.

L'apertura del secondo sportello è prevista nel secondo trimestre 2024, sulla base del *calendario degli inviti* predisposto e aggiornato dall'Autorità di gestione del programma FESR e consultabile al seguente link o inquadrando il QR-code.

<https://www.regione.piemonte.it/web/temi/fondi-progetti-europei/fondo-europeo-sviluppo-regionale-fesr/calendario-degli-inviti/calendario-inviti-presentare-proposte>



Nonostante gli interventi finanziati dal bando non possano essere considerati risolutivi nei riguardi del dissesto idrogeologico, essi danno sicuramente un contributo fondamentale alla messa in sicurezza di aree che da molto tempo versano in pessime condizioni, tali da pregiudicare la vivibilità e la vitalità dei siti e da compromettere il tessuto socio-economico di queste aree montane e rurali, così preziose per la resilienza del territorio piemontese.

In vista della riapertura del Bando, il presente volume si propone nei capitoli seguenti di illustrare ai potenziali beneficiari, ai tecnici e ai singoli cittadini che vogliono approfondire la tematica, le principali caratteristiche che devono avere gli interventi per essere ammessi ad agevolazione, le tecniche utilizzate e la loro finalità.

Le cause del dissesto idrogeologico e la classificazione dei fenomeni franosi

L'evoluzione dinamica della superficie terrestre (geodinamica), che spesso avviene in tempi lentissimi, procede a volte in modo rapido, con manifestazioni anche spettacolari (eruzioni vulcaniche, terremoti, maremoti o tsunami, alluvioni ed attività torrentizie, frane). Tutti i fenomeni che siamo soliti definire di "dissesto idrogeologico" si generano per una perdita delle condizioni di stabilità da parte dei terreni e delle rocce. Le cause di questa instabilità possono essere del tutto naturali, ma possono essere anche legate all'attività umana, ad esempio:

- **processi di saturazione del suolo, a opera di forti e/o prolungati periodo di pioggia**
- **fenomeni di desertificazione o inaridimento di suoli per motivi climatici o a seguito di disboscamenti, escavazione di inerti o deposito di materiali sterili**
- **erosioni generalizzate di versanti o di sponde di corsi d'acqua, esondazioni, ecc.**

In generale, esiste un rapporto evidente di causa ed effetto tra le piogge e i movimenti franosi. Per alcuni tipi di frane si è riscontrata una evidente relazione fra l'innescò delle instabilità e la lunghezza del periodo di precipitazione che li ha preceduti; in altri casi si è verificata una relazione con l'intensità della precipitazione, ad esempio nei colamenti rapidi per saturazione e fluidificazione dei terreni superficiali.

Nel caso di crolli di roccia e grandi movimenti franosi, invece, la relazione con le precipitazioni o con particolari situazioni climatiche appare più incerta. I meccanismi più importanti che danno luogo a fenomeni franosi sono i crolli di roccia, gli scivolamenti di masse di terreno, i colamenti rapidi di terreno saturo ed il trasporto di materiale solido in acque di ruscellamento su versanti (flussi incanalati).

Questi fenomeni possono manifestarsi singolarmente, ma alle volte si hanno situazioni che comprendono più fenomeni insieme.

I **crolli nelle formazioni rocciose** si generano, anche improvvisamente, per distacco da pareti rocciose o da versanti a elevata pendenza, a causa dell'aumento della pressione dell'acqua all'interno delle fratture presenti nella roccia, della pressione generata dalla formazione di ghiaccio nelle medesime, dalla presenza di sollecitazioni dinamiche (ad es. vibrazioni, sismi, esplosioni), o dall'esistenza di uno stato di sollecitazione, talora imputabile ad attività umane (scavi, tagli, ecc.).

I processi che possono innescarsi sono riconducibili allo scivolamento o al ribaltamento di masse rocciose. Il fenomeno di caduta o scoscendimento di masse rocciose può inoltre coinvolgere ulteriori masse di materiale instabile presente sui pendii, alimentando così i flussi detritici.

Le **frane da scivolamento** interessano – solitamente – terreni a granulometria molto fine, da limosa ad argillosa, ed evidenziano un rapporto di causa ed effetto rispetto a eventi di precipitazioni prolungate. Le sollecitazioni (es. la spinta dell'acqua) che gravano su queste formazioni generano uno scivolamento di massa lungo una superficie che può essere piana (**scivolamenti planari**), ma che più spesso è una curva simile a un arco di circonferenza (**scivolamenti rotazionali**). La superficie di scivolamento è normalmente concava, ma può anche essere più complessa, formata da una combinazione di elementi curvi e piani lungo i quali si verificano traslazioni e rotazioni della massa coinvolta.

I **colamenti rapidi di terreno saturo** si sviluppano in stretta concomitanza con gli eventi piovosi di forte intensità e avvengono per saturazione, e successiva fluidificazione, dei terreni incoerenti di superficie, spesso a valle di zone meno pendenti – ad esempio terrazzi e pianori, ma anche strade, campi, piazzali – che favoriscono la concentrazione e la penetrazione nel terreno di elevate quantità d'acqua.

La mobilitazione in questi casi avviene con velocità elevate, di alcuni metri al secondo, e il materiale fluidificato può percorrere grandi distanze, raggiungendo spesso i corsi d'acqua e aumentando considerevolmente il materiale solido trasportato. Le zone di inflessione del pendio, a valle di terrazzi o locali depressioni, risultano essere i punti maggiormente vulnerabili verso questo tipo di instabilità. I fenomeni si innescano e si esauriscono quasi sempre in pochi minuti, manifestandosi dapprima con uno scivolamento

ed evolvendo rapidamente in colate, spesso incanalate in linee di drenaggio o incisioni.

Il trasporto di materiale solido da parte dei corsi d'acqua è responsabile di notevoli fenomeni di dissesto delle sponde e del fondo degli alvei. L'instabilità delle sponde genera un continuo aumento dei materiali trasportati, andando ad incrementare la forza erosiva del corso d'acqua.

L'abbassamento del fondo degli alvei può produrre lo scalzamento, la sottoescavazione e l'aggiramento delle difese spondali e degli attraversamenti (ponti, passerelle ecc.).

La **possibilità di intervento umano sul dissesto idrogeologico** è sempre molto limitata, dato l'enorme squilibrio esistente tra l'entità delle sollecitazioni che la natura è in grado di mettere in campo e la resistenza che le tecniche di intervento possono opporre. Ad esempio, è sufficiente che la superficie di scivolamento di un movimento franoso si trovi a profondità dell'ordine delle decine di metri o che i volumi di roccia instabile superino l'ordine di grandezza di qualche metro cubo, per evidenziare il limite tecnologico di tutte le opere usualmente utilizzate per le sistemazioni del territorio.

Questo **quadro dei dissesti** può essere affrontato con opere (attive e passive) di consolidamento, contenimento e difesa, realizzate con infrastrutture e manufatti in muratura o cemento armato e/o con sistemi di consolidamento che prevedono l'infissione di pali trivellati e tiranti.

In relazione alle dimensioni del fenomeno, all'intensità delle spinte in atto e alla natura dei terreni coinvolti, trovano applicazione le **tecniche tradizionali** o quelle di **tipo naturalistico**.

Le **tecniche di Ingegneria Naturalistica** sono più efficaci per la risoluzione dei fenomeni di instabilità nelle porzioni più superficiali di terreno, dove le priorità sono ottenere il massimo effetto drenante e assicurare la massima protezione anti-erosiva, impiegando al contempo opere relativamente leggere per non sovraccaricare il terreno.

CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

I fenomeni franosi sono dei movimenti di massa coinvolgenti rocce, detriti o terre, attraverso i quali si manifesta la loro tendenza al raggiungimento di un minimo di energia potenziale. Nonostante la definizione alquanto semplice, essi costituiscono dei complessi fenomeni geologici e geomorfologici la cui classificazione è spesso controversa. Il sistema più usualmente adottato è quello proposto da Varnes (1978). Questa classificazione è basata essenzialmente su due parametri: tipologia del movimento di massa e tipologia del materiale coinvolto.

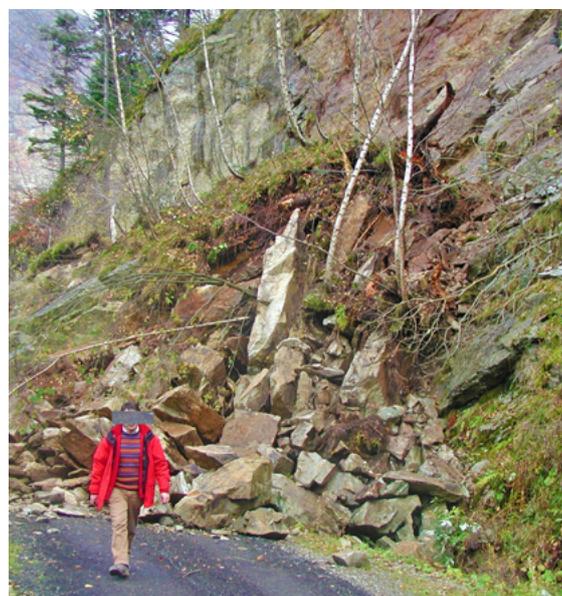


CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Frane da crollo in roccia

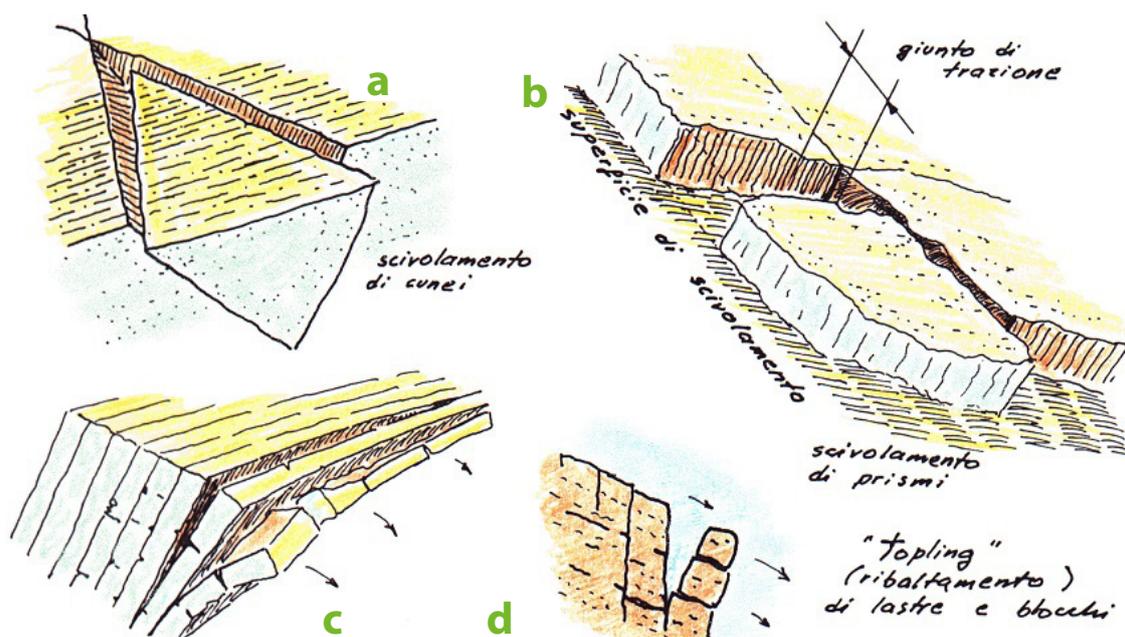
Questo genere di dissesti si manifesta con lo scivolamento o il distacco di blocchi di roccia più o meno grandi, che perdono aderenza rispetto all'ammasso roccioso cui appartengono. I fenomeni di crollo su pendii in roccia possono pertanto suddividersi in crolli dovuti a scivolamento (*sliding*) e crolli dovuti a ribaltamento (*toppling*).

Sono parametri importanti l'orientazione o giacitura delle discontinuità, la loro spaziatura, la persistenza, la scabrezza, la resistenza di parete, l'apertura e, infine, le caratteristiche relative al materiale di riempimento di queste ultime. Altrettanto importante è l'individuazione del cinematismo che da origine al fenomeno di instabilità.



Rappresentazione schematica di instabilità per crollo di porzioni rocciose interessate da sistemi di discontinuità che rendono possibile il collasso

- a** scivolamento a cuneo
- b** scivolamento planare
- c** ribaltamento di lastre
- d** ribaltamento di blocchi



Frane per scivolamento rotazionale evolventi in colata

Le frane per scivolamento rotazionale si riscontrano prevalentemente in presenza di livelli di terreno argillosi o limosi, pur con numerose eccezioni. Coinvolgono spesso masse notevoli, lungo superfici di movimento relativamente ben definite. Perché si formi una frana di questo tipo è necessario che si verifichino condizioni di pioggia prolungata e la sua attivazione

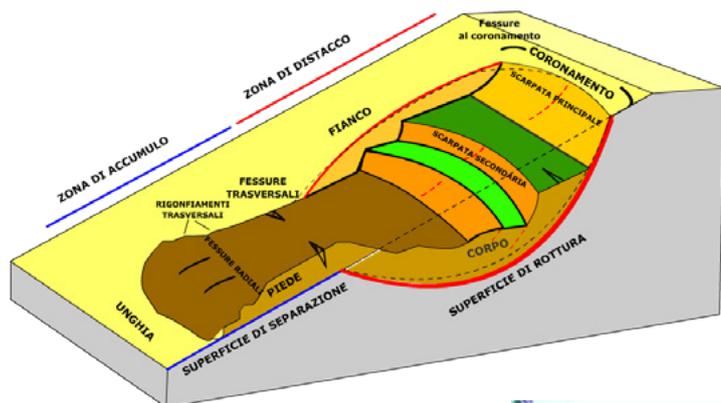
dipende anche dalla quantità di piogge pregresse. Ad esempio, se nel periodo precedente l'evento si riscontrano precipitazioni importanti, è ipotizzabile che queste acque saturino il terreno, andando a sommarsi con piogge di più elevata intensità generatesi a ridosso dell'evento.

La causa scatenante delle frane per scivolamento rotazionale è dunque connessa alle quantità di pioggia che insistono sul sito. Quando il terreno non è più in grado di contenere le sollecitazioni, scivola lungo una superficie curva, approssimabile a un arco di circonferenza che ha per corda la linea di massima pendenza.



CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Frane per scivolamento rotazionale evolventi in colata



↑ schematizzazione dei cinematismi e della geometria del fenomeno

Acqua da dietro, acqua da sotto, →
termini che ben sintetizzano le cause
scatenanti di questo tipo di fenomeni ↓



Frane da scivolamento planare

Le frane da scivolamento planare avvengono lungo superfici anche di modesta inclinazione, ma affinché il fenomeno si verifichi la superficie deve essere ben definita. Si sviluppano nelle parti medio alte dei pendii, con la formazione di **fratture di trazione** e lo spostamento (traslazione) verso valle delle masse distaccatesi.

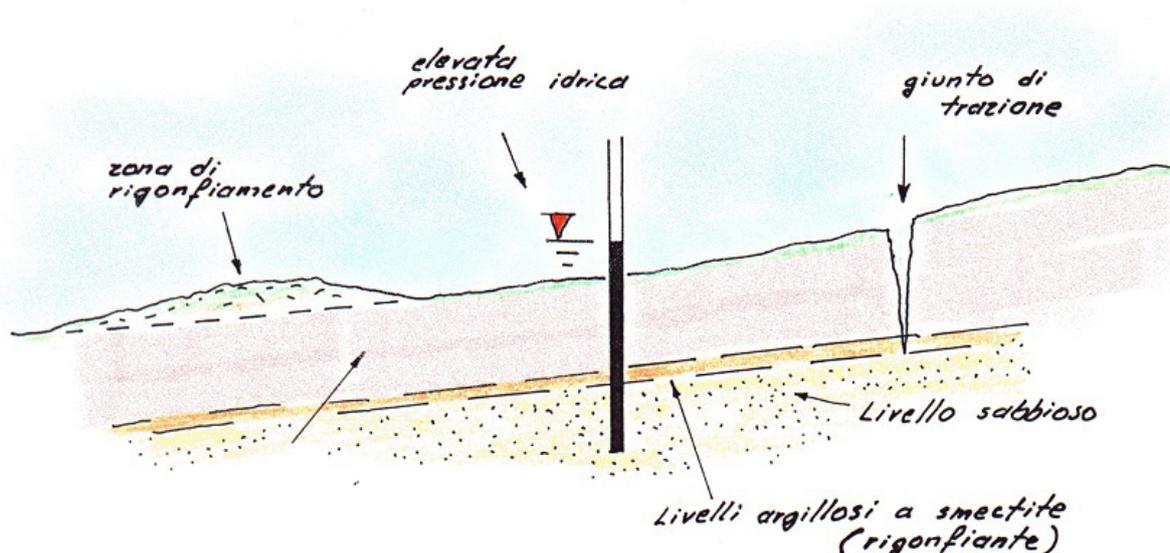
In Piemonte questa tipologia di frana è concentrata nel territorio delle Langhe.

La figura in basso mostra lo schema di distacco delle superfici in uno scivolamento planare. Il movimento può interessare anche le coltri rocciose **fino a una profondità di circa 20m**. La superficie che caratterizza il piano di scivolamento è individuata dal piano di contatto tra i diversi materiali osservabili in stratigrafia.

È possibile notare come gli strati impermeabili di argilla siti a una certa profondità impediscano all'acqua di penetrare liberamente lungo gli strati di terreno.

La maggior parte degli scivolamenti si attiva quindi in seguito ad abbondanti precipitazioni ed è possibile individuare alcuni **elementi premonitori** quali fessurazioni, rigonfiamenti, inclinazione degli alberi e dei pali, e perfino vere e proprie emergenze idriche.

Schema di distacco delle superfici in uno scivolamento planare



Frane da scivolamento planare



L'apertura di **fratture di trazione** più o meno continue, concentrate maggiormente nella parte alta del versante e ben sviluppate in profondità sono tra i segni più visibili e sono soprattutto queste discontinuità a favorire l'infiltrazione di acqua nel sottosuolo. Si possono poi riscontrare locali **ondulazioni del suolo** e osservare, nella parte medio-inferiore del pendio, **rigonfiamenti** – dati dalla presenza di minerali rigonfianti nelle argille (smectiti) – o **depressioni nel terreno**. L'inclinazione di piante ad alto fusto e pali della luce costituisce di solito uno dei risultati della traslazione e questi possono pertanto essere utilizzati come riferimento durante l'evoluzione dell'evento nel tempo.



L'importanza del monitoraggio delle precipitazioni

Le piogge cadute in corrispondenza dell'evento e quelle dei 60 giorni precedenti hanno pari importanza nella definizione delle condizioni di instabilità: in particolare, quelle dei 60 giorni precedenti hanno la funzione di alimentare i livelli più profondi, mentre le piogge più recenti influiscono sui terreni superficiali e lungo le discontinuità per fratturazione. Si può pertanto desumere la grande importanza del monitoraggio delle quantità di precipitazioni.

Nel caso di fenomeni primaverili, è necessario considerare, oltre alla piovosità cumulata, anche la quantità di acqua presente sul sito e causata dallo **scioglimento delle nevi invernali**.



Frane da fluidificazione superficiale del suolo (colamenti rapidi – *soil slip*)

Le frane da fluidificazione del terreno, o colamenti rapidi, sono considerate molto pericolose vista l'**assenza di segni premonitori** e data la loro **velocità di propagazione** (dell'ordine di pochi minuti al massimo).



Fra questi tipi di fenomeni di instabilità è possibile distinguere le frane per instabilità delle coltri dovute alla saturazione e fluidificazione dei terreni (*soil slip*), dai flussi detritici o lave torrentizie (*debris flow* e *mud flow*).

Le prime sono frane che investono gli strati più superficiali dei versanti e sono caratteristiche delle zone che si trovano a valle di pendii poco acclivi (terrazzamenti, strade, campi e piazzali), dove l'acqua può accumularsi e saturare in breve tempo il terreno.

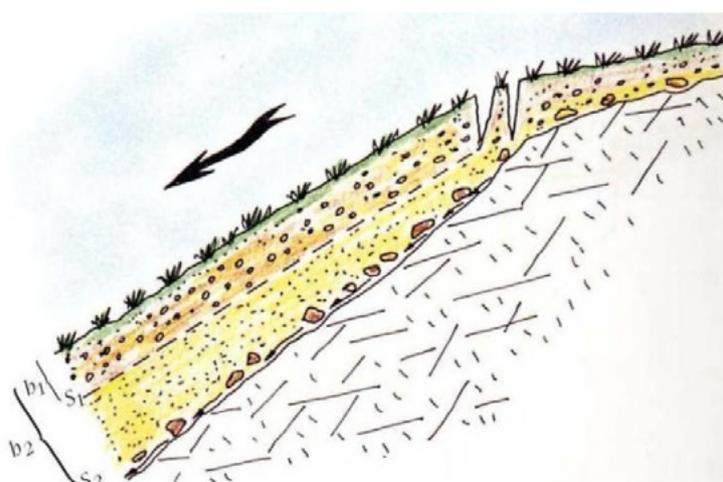
L'innesco è dunque l'eccesso di acqua nel terreno: questo si satura fino a liquefarsi e trasformarsi in una colata di fango e detriti che assume una velocità simile a quella di un fluido viscoso.



CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Frane da fluidificazione superficiale del suolo (colamenti rapidi – *soil slip*)

Gli strati superficiali di terreno presentano caratteristiche di permeabilità differenti rispetto a quelle degli strati sottostanti, anche se litologicamente simili: in presenza di grandi quantità di acqua si creano delle sovrappressioni all'interfaccia tra i due materiali, che possono diventare così elevate da provocarne la rottura. L'interfaccia può funzionare come superficie di scivolamento.



Tali dissesti non hanno particolari segni premonitori, perciò l'unico tipo di controllo e monitoraggio effettuabile è legato alla **presenza di acque torbide nei torrenti** e nelle acque di ruscellamento presenti nelle vicinanze, unitamente alla verifica della presenza di eventuali fratture nel terreno.



Movimenti di massa (*debris flow – mud flow – rock avalanche*)

Negli alvei di torrenti o di corsi d'acqua temporanei è possibile che si verifichino improvvise pulsazioni di piena: queste si evolvono rapidamente con fenomeni di auto-alimentazione, con frane in alveo che producono invasi temporanei e successive



elevate portate di torbida, le quali a loro volta incrementano l'erosione delle sponde e del fondo alveo. I flussi possono arrivare a valle sotto forma di vere e proprie **frane di detriti** solidi con vegetazione e acqua. Questo è il caso delle frane cosiddette di **debris flow**, un **colamento veloce incanalato** che prende forma lungo ripide aste torrentizie.

La pericolosità di questo fenomeno deriva dalle ingenti quantità di materiale solido trasportato, dalla forte azione erosiva, dal breve intervallo di tempo entro cui il fenomeno si innesca, si propaga e si esaurisce.

La massa che si muove in alveo carica continuamente nuovo materiale, durante la discesa verso valle, e questo aumenta sempre di più la pericolosità del fenomeno.

CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Movimenti di massa (*debris flow – mud flow – rock avalanche*)

L'innescò di tale meccanismo di dissesto è di certo imputabile alla presenza dell'acqua, sia di piogge cumulate (o neve) sia di temporali.

Purtroppo, anche per questo fenomeno non è possibile definire dei segni premonitori particolari se non controllare la **presenza di terra nei corsi d'acqua**.



Deformazioni gravitative profonde

Sono grandi movimenti delle terre o di formazioni rocciose, che avvengono a causa dello scioglimento dei ghiacciai. Nei luoghi dove anticamente erano presenti formazioni glaciali, scomparse poi con il tempo, le forze di pressione che prima erano presenti vengono a mancare. Queste forze sono costituite dalla pressione esercitata dai ghiacci contro le pareti delle valli e danno un contributo di resistenza positivo alla stabilità dei versanti di queste ultime. Con lo scioglimento dei ghiacciai, la minore pressione esercitata sui versanti fa sì che incomincino ad insorgere fenomeni di instabilità e,



conseguentemente, spostamenti anche molto ingenti di massa solida.

Gli spostamenti che si generano con le deformazioni gravitative profonde sono dell'ordine di pochi centimetri e distribuiti su tempistiche annuali/decennali, ma sono in grado di creare problemi ed evolvere in eventi anche catastrofici. Le instabilità di versante, anche se causate dal lento assestamento delle coltri, possono manifestarsi anche su scala locale. Queste grandi deformazioni sono rilevabili su strutture quali ponti, strade, dighe, gallerie, ovvero opere *rigide* che si estendono per tratti sufficientemente grandi di territorio da poter essere intaccate da questi fenomeni.

Qualora gli spostamenti del terreno dovessero portare con sé i vincoli funzionali delle opere civili (es. spostamento laterale delle pile dei ponti, abbassamento o innalzamento di alcune parti della struttura) si andrebbero a generare

CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

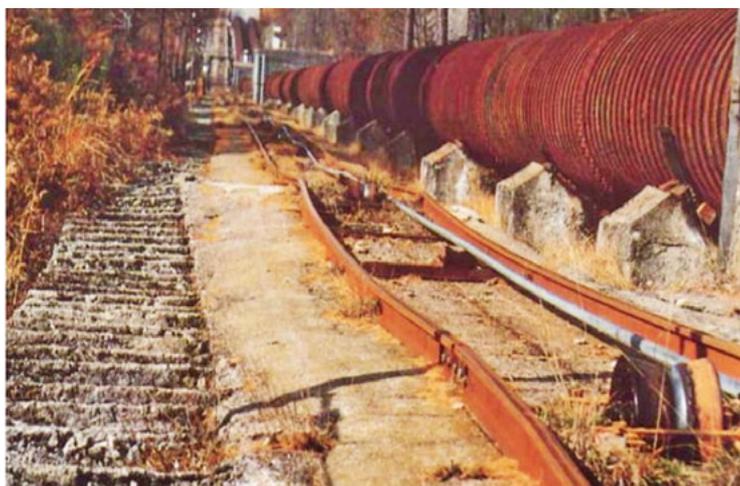
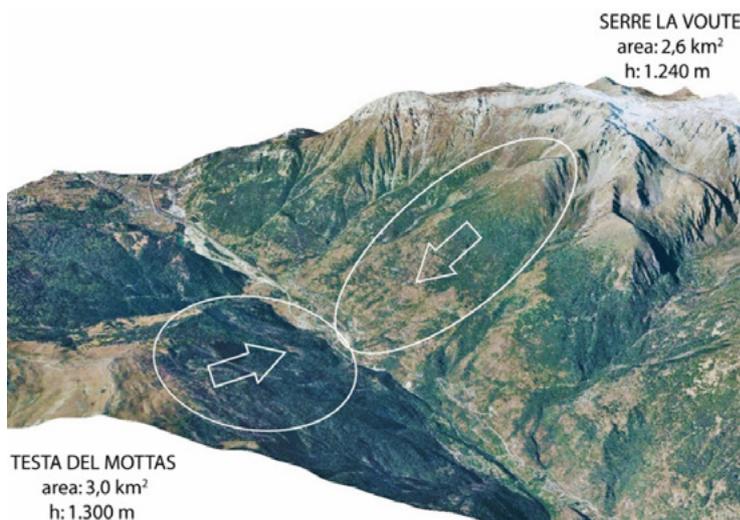
Deformazioni gravitative profonde

deformazioni o lesioni. È anche possibile che si verifichi l'apertura di fessure in grado di indebolire indirettamente l'opera, permettendo l'aggressione da parte degli agenti atmosferici alle opere fessurate con conseguenti ulteriori indebolimenti.

Per questi motivi, è pratica comune posizionare sulla loro superficie dei dispositivi di monitoraggio degli spostamenti relativi. Si potrebbe pensare che le deformazioni gravitative profonde siano un fenomeno controllabile e affrontabile con opere di ingegneria, ma esistono situazioni per cui non è possibile effettuare veri e propri interventi di stabilizzazione, perché tali deformazioni interessano estensioni di territorio (e masse di materiale) troppo grandi.

Aspetto ed effetti di deformazioni gravitative profonde: nell'immagine in basso si rileva la deformazione dei binari che affiancano una condotta idrica

In queste situazioni le operazioni attuabili sono il controllo e il monitoraggio nel tempo dei fenomeni di instabilità, realizzato con strumenti di misura periodica della morfologia del suolo, dell'ampiezza delle discontinuità e della presenza di acqua nelle formazioni. Il monitoraggio – se correttamente interpretato – permette di avere chiara la situazione di stabilità relativa



del versante e delle opere presenti, consentendo in casi di pericolo l'adozione tempestiva di misure di evacuazione o di sospensione delle attività antropiche. Un'azione positiva può comunque essere intrapresa prevedendo opere di abbattimento delle spinte idrostatiche eventualmente generabili dalle falde acquifere presenti (drenaggi con *micro-tunnelling*, ecc.) caratterizzate però da costi elevati.

Applicabilità delle tecniche di ingegneria naturalistica alle principali tipologie di dissesto

Questo *quadro dei dissesti* viene normalmente affrontato con le opere che ricadono nell'ambito delle **tecniche tradizionali**, l'insieme cioè di quelle opere attive o passive di consolidamento, contenimento e difesa dai fenomeni di instabilità, realizzate mediante infrastrutture e manufatti in muratura o cemento armato, oltre a sistemi di consolidamento che prevedono l'infissione di pali trivellati e tiranti.

Esistono però valide alternative di intervento riconducibili al mondo dell'Ingegneria Naturalistica che, anche in abbinamento o a integrazione delle tecniche tradizionali, permettono di risolvere con successo alcuni dei fenomeni di dissesto descritti.

Per quanto riguarda i dissesti gravitativi profondi e le frane da scivolamento planare, che interessano pendii di elevata potenza (dell'ordine delle decine di metri), non sono ipotizzabili opere attive di contenimento in grado di far fronte all'innesco di tali cinematismi – né con le tecniche tradizionali, né con tecniche di ingegneria naturalistica: in questi casi infatti gli interventi sono volti al controllo delle possibilità di spostamento delle masse coinvolte e della loro evoluzione nel tempo, con utilizzo delle più diverse tecniche di monitoraggio strumentale. Solo in alcuni casi (es. in presenza di instabilità per scivolamento planare) risultano efficaci interventi di mitigazione degli effetti indotti dalle precipitazioni atmosferiche di lunga durata, attraverso la messa in opera di sistemi di drenaggio e impianti di intercettazione, convogliamento e regimazione delle acque meteoriche.

Anche le frane da crollo risultano essere di pertinenza delle tecniche speciali di intervento attivo (disgaggi, riprofilature). La loro efficacia è strettamente correlata all'approfondimento delle indagini geostrutturali e alla precisione del supporto topografico sul quale le indagini vengono condotte.

Gli interventi di tipo passivo (es. opere di difesa dalla caduta di massi) vengono invece affrontati sia con tecniche tradizionali (es. gallerie paramassi, barriere in rete di acciaio) sia – assai efficacemente – con tecniche ascrivibili all'ingegneria naturalistica (es. rilevati paramassi in terra rinforzata).

Il campo di applicazione delle opere di sostegno, contenimento e stabilizzazione dei pendii unisce le tecniche tradizionali con quelle di tipo naturalistico in relazione alle dimensioni del fenomeno, all'intensità delle spinte in atto, alla natura della formazione e dei terreni coinvolti. Le tecniche naturalistiche hanno maggior efficacia in casi di instabilità degli strati superficiali di terreno e dove risultino di maggior importanza l'effetto drenante, la leggerezza, o la funzione anti-erosiva.

Gli interventi di **ingegneria naturalistica**, ovvero l'insieme delle tecniche che abbinano l'impiego di materiale vegetale vivo con legname ed altri elementi di ancoraggio, giunzione, vincolo, ecc., sono in grado di far fronte principalmente a fenomeni di dissesto correlati all'**erosione dei suoli** e all'**instabilità dei terreni** fino a profondità di pochi metri.

Ciò che, da una parte, appare come limite costituisce, dall'altra, un grande vantaggio, soprattutto quando è necessario operare nelle porzioni sommitali di versanti ripidi e scarpate (tipicamente nella nicchia di distacco di smottamenti e frane). Il contributo della vegetazione alla stabilità dei suoli, inoltre, costituisce un grande valore di queste opere, le sole in grado di conferire nel tempo un miglioramento delle caratteristiche geotecniche delle formazioni interessate dai fenomeni erosivi.

CORRELAZIONE TRA DISSESTI E TIPOLOGIE DI INTERVENTO

TIPOLOGIA DI DISSESTO	TECNICHE TRADIZIONALI	TECNICHE INGEGNERIA NATURALISTICA	ALTRI INTERVENTI
Crolli	Chiodature, tiranti, posa di barriere paramassi, gallerie artificiali paramassi	Reti metalliche con geosintetici antierosivi e rivegetazione, rilevati paramassi in terra rinforzata	Disgaggi riprofilatura pendii
Toppling ribaltamenti	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia
Scivolamenti planari		Sistemi drenanti con tecniche naturalistiche	Trincee drenanti profonde, monitoraggio inclinometrico e piezometrico
Scivolamenti rotazionali	Muri di contenimento, anche intirantati, consolidamenti mediante micropali	Palificate vive di sostegno in legname, scogliere di contenimento rivegetate, posa di antierosivi, ricostruzione pendii in terra rinforzata, rivegetazione della superficie risistemata	Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza
Colamenti lenti	Muri di contenimento	Palificate semplici, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
Soil slips scivolamenti rapidi superficiali		Geosintetici e fibre naturali con funzione antierosiva, palificate semplici, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
Movimenti di massa	Briglie in calcestruzzo armato, briglie filtranti	Briglie in legname e pietrame	Casse di laminazione e aree di invaso rinaturalizzate, barriere <i>anti-debris</i> in funi metalliche
Erosioni in scarpate	Muri di contenimento	Grate vive, sistemi di palificate vive di sostegno a doppia parete	Pannelli di rete armata a contatto + antierosivi e rivegetazione
Erosioni di sponda	Muri spondali, difese in massi cementati, gabbionate	Difese in massi rivegetate, scogliere in massi vincolati, coperture diffuse, rivegetazioni spondali, palificate vive di sostegno spondali	Ricalibrature degli alvei, allargamento della sezione di deflusso e opere di protezione spondale, rinaturalizzazione

Nature Based Solutions – soluzioni basate sulla natura

Prima di descrivere le tecniche di sistemazione comprese in questo campo di attività, si prende in considerazione il complesso di quelle operazioni preliminari necessarie e fondamentali sia per la messa in sicurezza del cantiere da ulteriori dissesti, sia per la riuscita nel tempo delle opere stesse. Queste operazioni preliminari consistono nella riprofilatura e rimodellamento di versanti e scarpate oggetto di eventi franosi, e nel consolidamento di quelle porzioni di roccia o terreno instabile che non possono essere asportate o interessate da interventi modificativi: tecniche quindi di consolidamento di elementi rocciosi o di scarpate detritiche mediante ancoraggi e legature, con la posa di pannelli di rete o funi a trefoli.



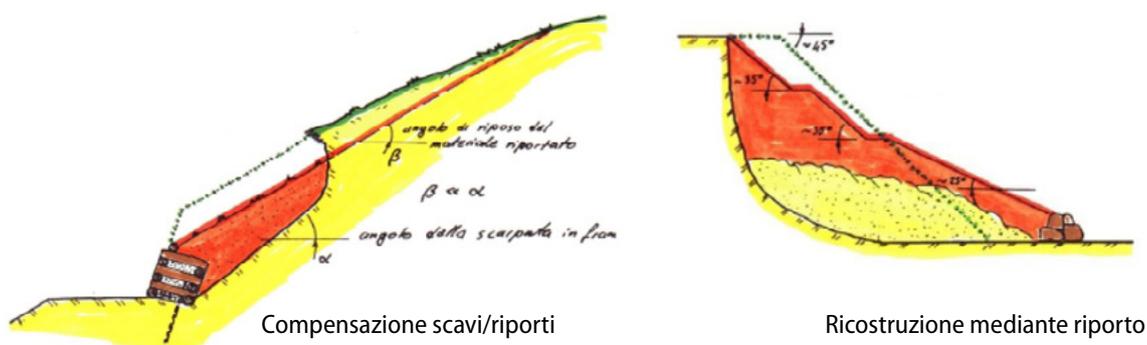
Operazioni preliminari: rimodellamento, riprofilatura e consolidamento di versanti, fronti rocciosi e scarpate

Il rimodellamento dei pendii che sono stati oggetto di eventi franosi deve essere sempre previsto e viene effettuato mediante operazioni di scavo e riporto (asportazione del ciglio di frana e ripristino della pendenza media compatibile con le esigenze di sicurezza), al fine di rendere possibili i successivi lavori di recupero dell'area di intervento.

I mezzi utilizzati per queste operazioni preliminari sono gli escavatori cingolati, i ragni meccanici, nonché i mezzi manuali e personale di qualifica da ordinaria ad altamente specializzata (rocciatori-disgaggiatori).

La ricostruzione del profilo di un versante ha come scopo il raggiungimento delle condizioni di equilibrio, sconvolte da eventi franosi o da fenomeni di erosione, naturale o indotta da interventi antropici, essenzialmente mediante una operazione di scavo e/o riporto, fino ad ottenere la configurazione progettata. Il parametro regolatore di questi interventi è senz'altro la pendenza finale del versante, in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno.

La riprofilatura del versante può avvenire mediante una compensazione ottenuta attraverso l'asportazione del coronamento instabile della frana e la ricolmatura della sottostante zona subissata, oppure mediante l'apporto di materiale dall'esterno dell'area di cantiere, accompagnato da adeguate opere di compattamento e consolidamento.



INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* Operazioni preliminari



Esempio di sistemazione di versante attraverso l'apporto di materiale dall'esterno del cantiere



Quando i fenomeni di instabilità interessano i versanti rocciosi, ovvero si ha a che fare con problemi di crolli in roccia, o di distacco e rotolamento massi, le operazioni di sistemazione possono prevedere:

- **disgaggio manuale** di blocchi, placche o lastre di roccia (di volumi indicativamente inferiori al metro cubo), o con ausilio di dispositivi meccanici e/o idraulici;
- **disgaggio meccanico** mediante escavatore tipo ragno, relativamente a elementi rocciosi di piccola cubatura presenti su detrito di frana o morenico, se questo consente l'accesso con il mezzo di scavo;
- **sbancamento** a opera di escavatore cingolato, dove vi siano migliori condizioni di accesso. La potenzialità di scavo è in questo caso notevolmente superiore a quella del ragno meccanico;
- **disgaggio meccanico** di elementi rocciosi mediante **demolitore idraulico** montato su escavatore (martellone), per ridotti dislivelli fra la macchina di scavo e la parete di roccia (non superiori a 6-10 m);
- **bonifica di blocchi rocciosi** mediante perforazione di fori da mina e brillamento di piccole cariche di esplosivo (patarraggio). Tale operazione prevede l'impiego di martelli perforatori a percussione, manuali, con motore autonomo o collegati a motocompressore.
- **profilatura di pareti rocciose**, realizzata solitamente con impiego di esplosivi, utilizzando una tecnica di taglio della roccia denominata *smooth blasting*.

INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* Operazioni preliminari



A fronte delle operazioni di movimento terra sui versanti, spesso risulta necessario procedere al consolidamento di blocchi, lastre rocciose e scarpate mediante chiodature, funi e reti metalliche.

Più in generale, per quanto riguarda le operazioni da eseguire su fronti di roccia in condizioni di instabilità è possibile fare ricorso a due categorie di interventi: attivi e passivi.



■ **Interventi passivi**

Solitamente sono posizionati a valle del pendio e non applicano nessuna forza al versante,



Dall'alto
rocciatore
escavatore-ragno
escavatore cingolato

INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS*

Operazioni preliminari



a



b

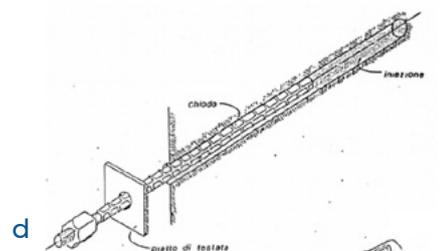


c

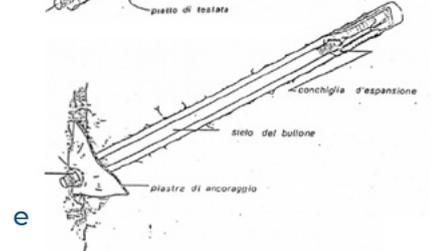
hanno lo scopo di trattenere le porzioni di materiale che si distaccano dal versante e sono costituiti da elementi quali reti paramassi, valli, gabbionate, gallerie artificiali, ecc. (figg. a, b, c)

Interventi attivi

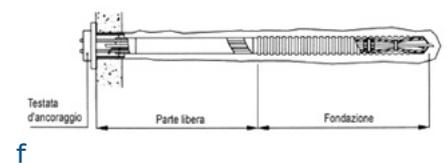
Sono posti direttamente sul fronte e applicano vincoli alla porzione di pendio dissestata così da evitare la caduta di blocchi instabili. Tra queste tipologie di ancoraggio rientrano chiodature e bullonature, i tiranti (ancoraggi) (figg. d, e, f)



d



e



f

Esempi di interventi passivi

- a) barriere
- b) gallerie
- c) rilevati

Esempi di interventi attivi

- d) chiodi
- e) bulloni
- f) tiranti

Tecniche naturalistiche di sistemazione idrogeologica e territoriale

Fermo restando l'opportunità di un razionale impiego combinato delle tecniche via via descritte, si propone uno schema di classificazione comprendente diverse tecniche di sistemazione, attribuibili all'ingegneria naturalistica e basato sulla funzione prevalente svolta dalla singola tipologia di intervento.

DIFESA DALL'EROSIONE SUPERFICIALE, DRENAGGIO DEI TERRENI, RINATURALIZZAZIONE E MANUTENZIONE DEI VERSANTI

Rivegetazione e gestione forestale	Interventi selvicolturali	Manutenzione di versanti
		Manutenzione di alvei e sponde
	Messa a dimora di soggetti arborei/arbustivi	Piantagioni
	Cespugliamenti consolidanti	Gradonate vive, cordonate vive, talee a chiodo
		Coperture diffuse
Geosintetici e fibre naturali	Tecniche di inerbimento	Semina a spaglio
		Idrosemine
		Semine protette
	Con funzione di rinforzo	Geotessili, georeti , geogriglie
	Geocompositi	
	Geomembrane	
	Biotessili	

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO DELLE FORMAZIONI

Canalizzazioni

Canalizzazioni metalliche con rinfianchi

Rivegetati

Canalizzazioni in legname e pietrame

Canalizzazioni in terra inerbite

Canalizzazioni in terra impermeabilizzate e inerbite

Canalizzazioni in tavolame di legno

Sistemi drenanti

Trincee drenanti

Cunei filtranti

Fascinate drenanti

RICOSTITUZIONE STRUTTURALE DEI VERSANTI: SOSTEGNO, CONTENIMENTO, CONSOLIDAMENTO, PROTEZIONE DALL'EROSIONE

Opere in legname	Palificate semplici	Palificate semplici
		Palificate semplici a pali sovrapposti
		Palificate semplici a piloti incrociati
	Palificate di sostegno	Palificate vive di sostegno a una parete
		Palificate vive di sostegno a doppia parete
	Grate vive	Grate vive a camera
Opere in pietrame		Murature in pietrame
		Scogliere rivegetate
		Gabbioni
Opere in terra	Terre rinforzate	A struttura aperta con geogriglie
		A struttura aperta con reti metalliche
		A struttura chiusa con geotessili

DIFESA SPONDALE, STABILIZZAZIONE DI ALVEI E IMPLUVI

Opere idrauliche trasversali	Briglie e soglie	In legname e pietrame
		In massi (con o senza cls)
		In gabbioni di acciaio
Opere idrauliche longitudinali	Difese spondali	In legname (ev. pietrame)
		In massi (con o senza cls)
		In gabbioni di acciaio

RIVEGETAZIONE E GESTIONE FORESTALE

Le tecniche per la cura periodica della vegetazione esistente sul territorio e per la ricostituzione della copertura vegetale svolgono un ruolo fondamentale nell'ambito delle operazioni di manutenzione, protezione e consolidamento di versanti e sponde. L'obiettivo è quello di proteggere, grazie alla vegetazione, la superficie del suolo dall'effetto battente delle piogge, assicurando il corretto assorbimento nel terreno delle acque meteoriche, evitando così che l'acqua non assorbita divaghi in superficie con velocità che possono diventare erosive. Ciò può essere ottenuto con la corretta gestione della vegetazione presente o con l'impiego di tecniche che prevedono l'uso del materiale vegetale vivo, anche in abbinamento a materiali inerti.

Ai fini della completa riuscita degli interventi di ingegneria naturalistica, il corretto utilizzo e l'attecchimento della componente vegetale risultano essere di sostanziale importanza: ad esempio, devono essere impiegate solo specie autoctone, tipiche della vegetazione locale del sito di intervento, evitando quindi l'introduzione di specie o ecotipi esotici che trasformerebbero le opere realizzate in fattori di inquinamento biologico.



a



b

a) Il taglio non selettivo ("clear-cutting") costituisce la peggiore modalità di gestione di un bosco dal punto di vista idrogeologico ed ecologico

b) Boschi di faggio avviati a fustaia
operazioni di manutenzione spondale e riqualificazione della vegetazione spondale in ambito urbano.
Occorre sempre ricercare un punto di equilibrio tra le esigenze ecologiche, quelle idraulico- idrogeologiche (officiosità delle sezioni di deflusso e stabilità delle sponde) e quelle della fruizione pubblica

Gli interventi selvicolturali

A volte i versanti boscati, sia collinari che montani, versano in condizioni di profondo degrado, riducendosi a disordinati intrecci di vegetazione arbustiva ed arborea. In simili situazioni troppo spesso vengono operati tagli eccessivamente energici, con una brusca riduzione della copertura forestale. Si verificano allora fenomeni di ruscellamento incontrollato che innescano dissesti superficiali e talvolta profondi, dovuti a un notevole incremento dell'erosione del suolo superficiale. Durante i fenomeni di precipitazione, la superficie boscata svolge un'opera di regimazione idrica, che si manifesta con l'intercettazione delle precipitazioni da parte dei rami, delle foglie, del sottobosco, della copertura morta, dell'humus e del terreno forestale, e con un'importante azione di evapotraspirazione. Questo sistema complesso filtra, trattiene e cede acqua con velocità tali da non asportare terreno: questa azione viene svolta efficacemente da formazioni boscate mature, composte da più specie e sottoposte a periodiche cure selvicolturali.

Il bosco contribuisce quindi a **ridurre notevolmente i trasporti torbidi e solidi**, con conseguenze positive sulla capacità degli alvei di smaltire la piene.

Rivegetazione di superfici, pendii e sponde: inerbimenti

Gli inerbimenti vengono effettuati con il fine primario di preservare i terreni dall'erosione. Il terreno viene rimodellato ed eventualmente preparato, con aggiunta di terra agraria e altri materiali organici (es. il compost), viene quindi seminato utilizzando la tecnica della semina manuale (a spaglio), meccanizzata, o idraulica (idrosemina). L'idrosemina può essere additivata con coloranti, collanti, concimi, fibra di cellulosa, paglia triturrata ed altri composti atti a favorire la rivegetazione dei terreni sterili e/o acclivi.

Tecniche di inerbimento

Gli inerbimenti hanno lo scopo di:

- stabilizzare il terreno, attraverso l'azione consolidante degli apparati radicali;
- proteggere il terreno dall'erosione superficiale dovuta all'azione battente delle precipitazioni di breve durata e forte intensità e dal ruscellamento superficiale;
- ristabilire i processi vegetazionali e le condizioni pedologiche di fertilità, onde permettere lo sviluppo di vegetazione appartenente a livelli più evoluti;
- reinserire le aree nel contesto paesaggistico preesistente.





Negli inerbimenti devono essere utilizzate specie erbacee adatte ai diversi tipi di terreno, tenendo in considerazione il clima e la quota del sito di intervento.

La ricostituzione della cotica erbosa può avvenire mediante una **semina manuale** (a spaglio), preceduta da eventuali operazioni di preparazione del piano di semina, e di concimazione con letame, concimi chimici o compost. Nel caso di estese superfici, regolari e non in forte pendenza, tale intervento può fare ricorso alla meccanizzazione agricola prevedendo l'utilizzo di seminatrici portate o trainate da trattori (**semina meccanizzata**).

Sempre più spesso, data la sua versatilità e rapidità esecutiva, si ricorre alla tecnica dell'**idrosemina**, che prevede l'irrorazione di una miscela composta da acqua, miscuglio di sementi erbacee idonee, concime, collanti, ed eventuali coloranti, prodotti fitoormonici e sostanze miglioratrici del terreno, il tutto distribuito in un'unica soluzione con speciali macchine irroratrici a forte pressione, denominate idrosemiatrici.

A seconda della dimensione del serbatoio contenente la miscela idraulica, le idrosemiatrici possono essere montate su veicoli fuoristrada (pick-up) o su autocarri di maggiori dimensioni, oppure trasportate con elicottero.

In caso di superfici particolarmente povere di humus, e quindi poco fertili, nell'ambito delle operazioni di semina può essere prevista la distribuzione sul terreno di una miscela (**mulch**) di paglia o fieno triturati, fibra di cellulosa e concime.

In tal caso si parla di **idrosemina potenziata** o **a spessore**. Questo tipo di idrosemina tende anche a sostituire quelle tecniche di semina manuale con coltre protettiva di paglia o fieno (**semine protette**), che possono prevedere anche l'impiego di sementi di specie arboree e arbustive selezionate e, onde evitare la dispersione della paglia, la ricopertura delle superfici con una rete in polietilene additivato biodegradabile, fissata a terra con picchetti di legno o talee.

Messa a dimora di specie arbustive e arboree

La messa a dimora di piante e talee ha come scopo principale quello di consolidare il terreno attraverso lo sviluppo dell'apparato radicale. Rispetto all'inerbimento, questi interventi hanno un minor effetto da un punto di vista estensivo, ma nel tempo conseguono migliori risultati in profondità: l'apparato radicale di arbusti e alberi può raggiungere infatti profondità di 1-2 m e oltre, mentre quello delle specie erbacee può essere compreso indicativamente (salvo rare eccezioni) tra 5 e 50 cm.

La messa a dimora di talee risulta essere un metodo più economico per la rivegetazione di aree e di strutture, poiché la talea è costituita da ramaglie e parti di rami di alberi e arbusti ad elevata capacità di riproduzione del proprio apparato radicale e può essere recuperata direttamente da interventi di manutenzione che si effettuano, nel periodo di riposo vegetativo, su pendii e sponde fluviali, anche dalle formazioni vegetali circostanti il sito di intervento. Non hanno la stessa capacità di attecchimento delle piantine in vaso o fitocella, ma possono essere fornite in grandi quantità ed essere conficcate direttamente nel terreno (talee a chiodo), oppure disposte orizzontalmente in riga, a formare lunghi pettini in banchine di scavo che vengono poi interrate.

La formazione di gradoni di talee (gradonate vive) può favorire il consolidamento e il drenaggio dei pendii così risistemati.



INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* Messa a dimora di specie arbustive e arboree

Risulta inoltre indispensabile scegliere correttamente il periodo di messa a dimora del materiale vegetale, rispettando i tempi di **riposo vegetativo** (per le talee) o di **risveglio vegetativo** (per le piantine) ed escludendo i periodi di gelo o di eccessivo calore secco. Al fine della rivegetazione di siti che sono privi della copertura vegetale, è possibile intervenire anche con la messa a dimora di specie arbustive e arboree.

Questa tecnica può essere adottata in via esclusiva o far parte di un sistema di opere per il conseguimento della stabilizzazione e del recupero ambientale del sito.

L'impianto della vegetazione potrà quindi essere eseguito con l'impiego di materiale vegetale proveniente da vivai, fornito in diverse forme:

- **radice nuda;**
- **in fitocelle;**
- **in contenitori;**
- **in zolle** (con pane di terra) protette da reti in juta.

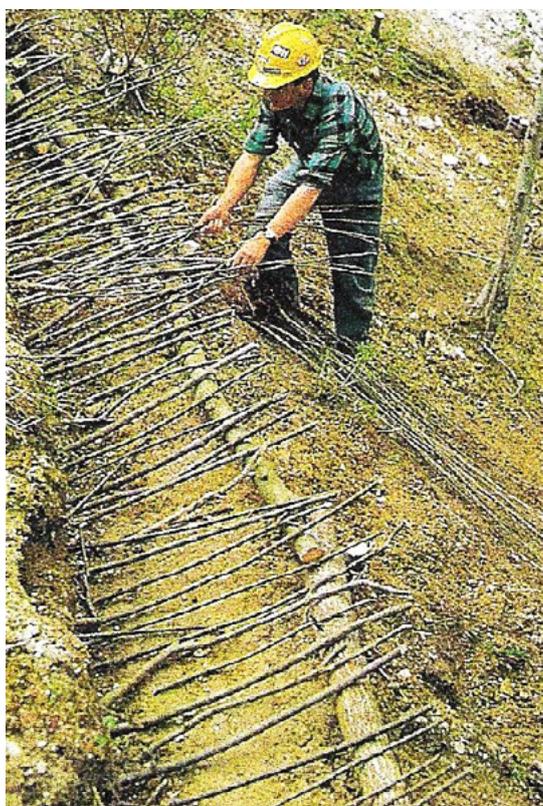
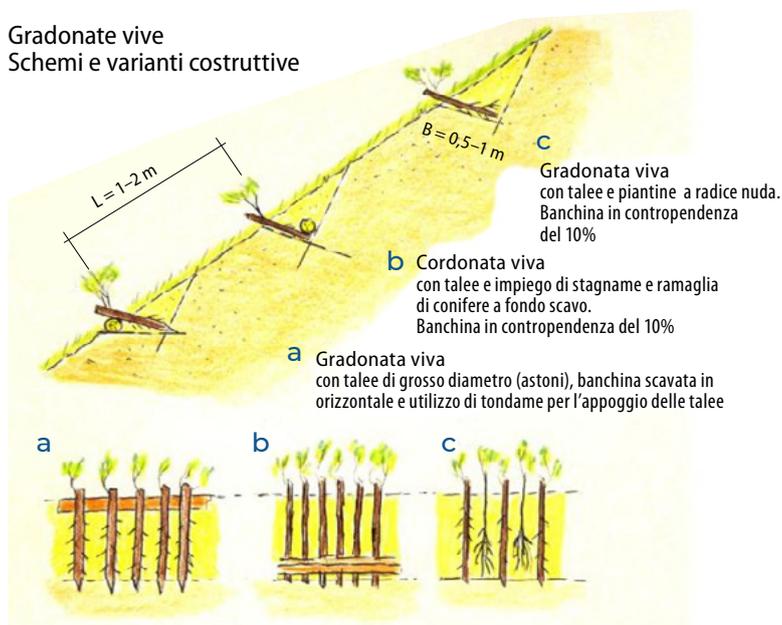
Ogni tipologia di intervento presenta vantaggi e svantaggi: in genere all'economicità del prezzo d'acquisto e alla comodità di trasporto si contrappongono la delicatezza e vulnerabilità del soggetto da mettere a dimora e la percentuale di successo nell'attecchimento.

L'esclusivo impiego di materiale di propagazione agamica (talee) riduce lo spettro di specie vegetali utilizzabili, in quanto questa forma di diffusione è ristretta a un numero limitato di specie, generalmente pioniere, e non permette da subito di conferire al sito caratteristiche di diversificazione delle specie vegetali e di naturalità ottimali. Al tempo stesso l'impiego di talee assicura – di norma – una più rapida



copertura del suolo e quindi una massimizzazione degli effetti di consolidamento e regimazione delle acque superficiali. È evidente quindi che l'impiego contemporaneo di materiale vegetale radicato e di talee rappresenta spesso la migliore soluzione negli interventi di sola rivegetazione, ferma restando la fondamentale importanza dell'utilizzo esclusivo di specie autoctone.

Gradonate vive
Schemi e varianti costruttive



Cespugliamenti consolidanti

Con questo termine generico si comprendono vari tipi di intervento per il consolidamento di pendii mediante messa a dimora di materiale vivo.

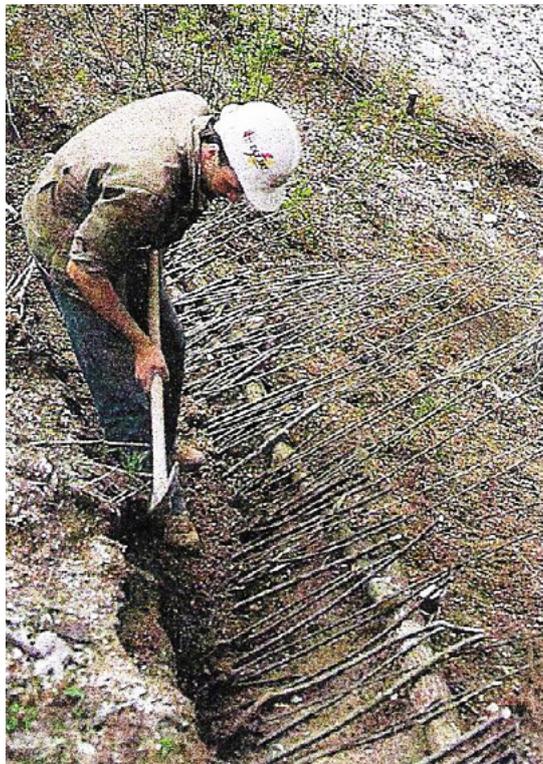
I sistemi più utilizzati sono le **gradonate vive** e le **cordionate vive**.

Gradonata viva: prevede lo scavo manuale o meccanico di una banchina profonda almeno 50 cm, con una contropendenza del 10% circa, dove vengono messe a dimora talee, o talee e piantine radicate. Il numero minimo è

rispettivamente di 20 talee/metro (con diametro minimo di 2 cm) e/o di 5 piantine radicate/metro. La banchina viene poi ricaricata della terra di scavo, lasciando sporgere le talee solo per pochi centimetri.

Cordonata viva: viene realizzata con le medesime modalità di scavo e riempimento, ma utilizzando unicamente talee di specie arbustive e arboree ad elevata capacità vegetativa, allestendo sul piano della banchina un fondo di stanghe di corteccia ed un letto di ramaglia di conifere ricoperto da uno strato di 10 cm di terreno; vengono quindi disposte le talee in numero di almeno 20 talee/metro, ed effettuato il reinterro.

INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* Cespugliamenti consolidanti



Il materiale vegetale maggiormente impiegato per questi utilizzi, siano essi la disposizione di semplici talee a chiodo, piuttosto che l'allestimento di gradonate vive, cordonate vive, coperture diffuse con astoni o altro, è il salice.

La scelta della specie più idonea al sito risulta essere spesso superata da esigenze contingenti, quali la presenza di abbondante riserva di materiale in siti già individuati dagli operatori come *aree di taleaggio*.



Geosintetici e fibre naturali

I geosintetici sono prodotti prefabbricati realizzati dall'industria tessile, delle fibre naturali, della gomma e delle materie plastiche, delle membrane bituminoso-polimeriche e della bentonite.

Il loro campo di applicazione, inizialmente limitato al settore civile/edilizio, si è grandemente esteso anche alla geotecnica e all'Ingegneria Naturalistica.

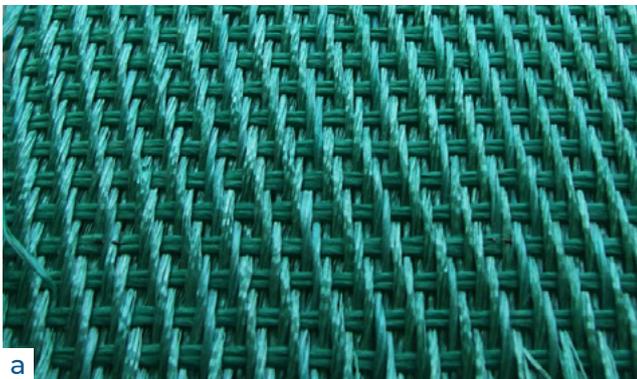
I geosintetici svolgono funzioni di filtro, drenaggio, barriera idraulica, separazione, rinforzo, protezione dall'erosione.

Spesso le loro elevate prestazioni tecniche assicurano diverse azioni congiunte, in modo da far fronte in maniera specifica alle diverse esigenze di impiego.

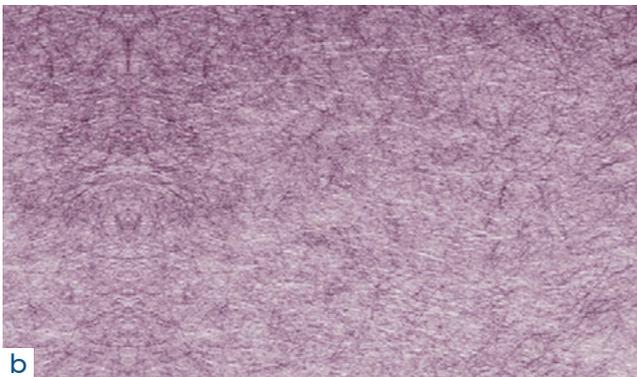
L'utilizzo di geosintetici per la costruzione di opere in terra rinforzata ha molto spesso dimostrato la maggiore idoneità di queste opere flessibili a rispondere a sollecitazioni statiche e dinamiche, rispetto a manufatti tradizionali.

Negli interventi di Ingegneria Naturalistica l'uso di geosintetici assume diverse funzioni: filtro, drenaggio, protezione dall'erosione, ma anche supporto allo sviluppo della vegetazione nella fase iniziale di crescita. Vasto è inoltre il campo di utilizzazione negli interventi di contenimento e stabilizzazione di fenomeni franosi.

I geosintetici rivestono, infine, un ruolo di fondamentale importanza nella realizzazione di barriere per il controllo e il contenimento degli inquinanti, con particolare riferimento ai rivestimenti degli impianti di smaltimento di rifiuti solidi e liquidi.



a



b



c

- a) Geotessile tessuto
- b) Geotessile non-tessuto
- c) Geogriglia monodirezionale

INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* **Geosintetici e fibre naturali**

Le reti, stuoie e tessuti in fibra naturale, annoverati in questa presentazione tra i geosintetici (in quanto prodotti prefabbricati) e definiti genericamente biotessuti, hanno un ruolo fondamentale negli interventi di sistemazione del territorio.

Nei lavori di Ingegneria Naturalistica, durante il delicato periodo che intercorre tra la fine dei lavori e l'affermazione della copertura vegetale derivante dai lavori di rinaturalizzazione (inerbimenti, messe a dimora ecc.), questi materiali, utilizzati a protezione di aree in pendenza frutto del rimodellamento della morfologia locale, costituiscono l'unica difesa del terreno dall'erosione superficiale ad opera delle acque meteoriche. Svolgono peraltro una efficace azione di ripartizione dei carichi e degli sforzi di trazione su ampie superfici, in maniera analoga ad altri geosintetici (georeti, geotessili, geogriglie), seppure con parametri caratteristici inferiori.

L'efficacia del loro contributo decade nell'arco di alcune stagioni con la degradazione delle fibre, ma viene progressivamente sostituita dallo sviluppo della vegetazione erbacea. Proprio le fibre naturali rappresentano quindi il supporto ottimale allo sviluppo degli inerbimenti, incrementando la fertilità del terreno (biostuoie), trattenendone le particelle più fini e riducendo l'evaporazione idrica a vantaggio del mantenimento di condizioni microclimatiche più umide.

Le fibre naturali comprendono una vasta famiglia di prodotti costituiti da teli o pannelli di juta o cocco (in minima parte da agave, canapa, cotone, cellulosa, paglia, viscosa ecc.) che si differenziano essenzialmente per la tecnica di fabbricazione: se questa avviene per formazione di tessuti (caratterizzata da trama e ordito), si parla appunto di bio-tessuti; se questa avviene per un diverso tipo di assemblaggio (agugliatura, adesione su fogli o reticelle biodegradabili) si parla di bio-stuoie, bio-feltri ecc.

Nelle tecniche di Ingegneria Naturalistica, dove alla funzione di supporto alla rivegetazione si accompagna quella di difesa dall'erosione da parte delle acque superficiali, riveste un ruolo particolarmente importante la resistenza a trazione del prodotto impiegato.

INGEGNERIA NATURALISTICA E TECNICHE *NATURE BASED SOLUTIONS* Geosintetici e fibre naturali



- a) Rete in fibra naturale di cocco a maglie aperte
- b) Rete in fibra naturale di juta a maglie aperte
- c) Biostuoia in fibra naturale di cocco

Generalmente si ricorre quindi all'utilizzo dei biotessuti, caratterizzati da proprietà meccaniche più elevate (maggiori nel cocco, minori nella juta), anche se queste vanno ad esaurirsi nell'arco di una (juta) o più stagioni vegetative (cocco). Se invece risulta prevalente la necessità di avere un materiale dotato di buona capacità di ritenzione idrica e di abbondante riserva di materiale organico a supporto della rivegetazione, si andranno a preferire prodotti non-tessuti, quali le biostuoie.

Tornando all'impiego con prevalente attenzione agli aspetti idrogeologici, si tende a preferire la fibra naturale di juta o cocco, a maglie aperte, maggiormente idonea allo sviluppo della vegetazione idroseminata (più facile da attraversare da parte degli apparati radicali) e priva di indesiderati effetti "pacciamanti" propri delle strutture a maglia chiusa.

Sinteticamente si annoverano dunque biotessuti in rete a maglia aperta di **cocco** (resistenza a trazione ca. 15 kN/m), **agave** (resistenza ca. 8-10 kn), **juta** (resistenza ca. 5 kN/m).

Regimazione idraulica e drenaggio delle formazioni soggette a fenomeni di instabilità

Fra i più importanti interventi sui fenomeni di dissesto si collocano quelli atti a eliminare o diminuire la presenza di acqua in eccesso nel sottosuolo.

Le problematiche connesse alla realizzazione delle opere di drenaggio sono in genere legate alle profondità di lavoro e alla difficoltà di praticare interventi di mantenimento della loro funzionalità. Per quanto riguarda la profondità di realizzazione, questa dipende dalle oscillazioni di falda, che determinano il livello piezometrico, mentre la riuscita del mantenimento delle opere può dipendere anche dai movimenti del terreno, talora in grado di modificare l'inclinazione dei condotti di drenaggio o dei collettori di superficie e quindi di vanificarne l'effetto. Infine, le difficoltà di mantenimento sono date anche dalla possibilità di progressiva otturazione delle superfici filtranti.

Gli interventi di drenaggio si possono suddividere in due gruppi principali:

- **opere di drenaggio di tipo superficiale** comprese le canalizzazioni a cielo aperto
- **opere di drenaggio di tipo profondo**

I **drenaggi di tipo superficiale** comprendono le opere di regimazione delle acque superficiali e di sistemazione del pendio di primo intervento e sono quelli di più rapida e facile installazione e manutenzione, ma sono anche quelli che si danneggiano più facilmente.

I **drenaggi di tipo profondo**, che in genere hanno carattere definitivo, necessitano di opere e di attrezzature più complesse per la loro installazione e possono essere onerosi. A fronte di questi svantaggi assicurano però una maggiore efficacia nella stabilizzazione di versanti in frana.

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

In genere i drenaggi superficiali comprendono: canalizzazioni superficiali, fossi di guardia, dreni intercettori, riprofilatura dei versanti per eliminare le depressioni presenti, sigillatura ed impermeabilizzazione delle fessure.

Nel seguito si esaminano alcuni dei principali interventi di canalizzazione a cielo aperto e di drenaggio superficiale (in un intervallo indicativo di 0 – 4 m di profondità, corrispondente alla capacità operativa ordinaria di una macchina di scavo).



A sinistra
Impiego combinato di reti in fibra naturale di juta e geostuoie sintetiche in polipropilene, rispettivamente per il supporto alla rivegetazione e per il convogliamento delle acque superficiali

A destra
Geocompositi costituiti da nontessuti e altri materiali per il drenaggio alla base di un movimento franoso

Canalizzazioni

Per la regimazione idraulica delle acque di superficie occorre impiegare soluzioni tecnicamente adeguate, tenendo presente che in tutto l'arco alpino possono verificarsi episodi di precipitazione breve e intensa anche dell'ordine dei 100 mm/h.

Di fronte a queste possibilità, cui sono direttamente correlabili i fenomeni di fluidificazione per saturazione della coltre di terreno superficiale (*soil-slips*), è evidente l'attenzione che deve essere posta all'intercettazione e al recapito delle acque meteoriche nella redazione dei progetti di sistemazione di versanti in frana e del territorio in generale.

Sussiste in tale ambito un'ampia casistica di tipologie, che possono essere oggetto di scelta progettuale, rivolgendosi a tecnologie industriali, naturalistiche o miste. Prima di procedere all'illustrazione delle varie tipologie impiegabili per la regimazione delle acque di superficie, occorre ricordare che la capacità di smaltimento da parte della sezione di deflusso e la durata dell'intera struttura devono essere garantite da un attento esame delle pendenze attribuite in fase costruttiva e da una periodica attività di manutenzione.

La regimazione delle acque di superficie avviene con lo svolgersi di tre distinte azioni:

- **intercettazione** delle acque da versanti o bacini di raccolta, che possono essere originati da morfologie naturali o create dall'uomo (es. piazzali impermeabilizzati, parcheggi, aree commerciali ecc.);
- **collettamento** delle acque, che devono transitare in maniera sicura attraverso sezioni idraulicamente verificate, al fine di evitare rischi di sversamento e tracimazione: tali rischi sono sempre molto elevati perché le azioni di intercettazione e collettamento corrispondono sempre a una fase di concentrazione di portate d'acqua che, in caso di avaria o mancati funzionamenti delle strutture di trasporto, possono determinare danni più gravi rispetto alle condizioni iniziali (di acque non regimate);
- **recapito** delle acque a zone sicure, quali impluvi naturali stabili, corsi d'acqua in grado di accogliere e smaltire le ulteriori portate ecc.

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Canalizzazioni

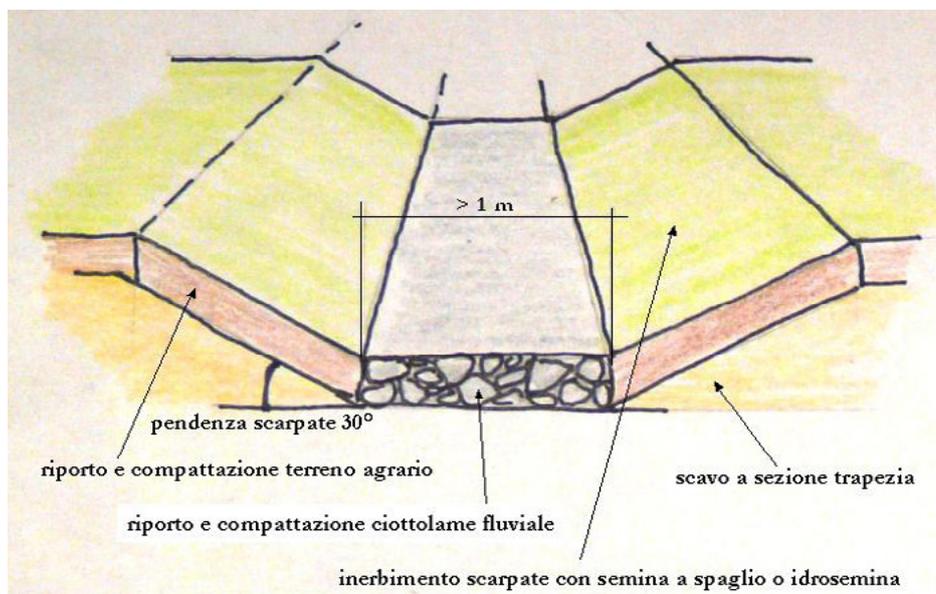
Fintanto che la progettazione delle canalizzazioni dà luogo ad opere caratterizzate da **pendenze e velocità di deflusso non elevate**, è possibile prevedere che le stesse vengano realizzate semplicemente in terra, effettuando uno scavo avente sagoma trapezoidale, procedendo quindi alla compattazione di tutte le superfici e all'inerbimento con semina a spaglio o idrosemina, sia sulle scarpate che sul fondo. Sul fondo è generalmente opportuno prevedere la formazione di un letto in materiale ghiaioso/ciottoloso, rullato ripetutamente, al fine di evitare la formazione di solchi di incisione da parte delle acque.

Sulle scarpate l'ulteriore protezione può essere realizzata disponendo opportunamente geosintetici antierosivi (generalmente reti in fibra naturale di juta o cocco).

Si possono avere quindi le configurazioni tipologiche di seguito elencate.

In terra, inerbite

Possono essere ottenute attraverso una semplice operazione di movimento terra, dove il materiale proveniente dagli scavi può essere destinato ad altri interventi fuori cantiere, oppure reimpiegato nella realizzazione di eventuali opere arginali.

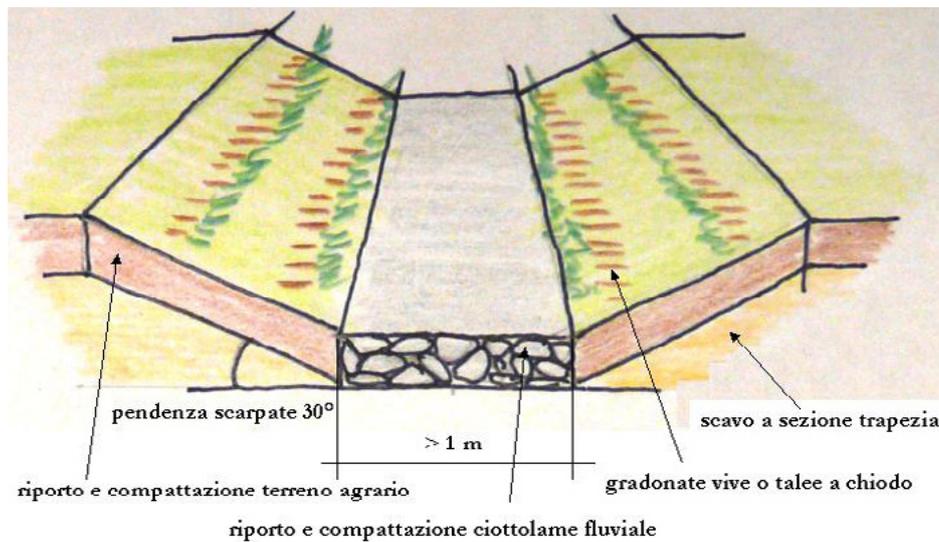


Le sponde e i rilevati possono essere eventualmente rivestiti mediante reti in fibra naturale o geosintetici (geostuoie), ma vanno prontamente rivegetate con una semina a spaglio o con idrosemine, eventualmente a *mulch*.

Canalizzazione in terra inerbita

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Canalizzazioni



In terra, rivegetate con inerbimento e cespugliamenti consolidanti

Questa soluzione si presenta sicuramente vantaggiosa in termini di stabilità delle sponde e in termini di impatto ecologico: gli apparati radicali delle specie arbustive e arboree garantiscono infatti una profondità di radicazione

Canalizzazione in terra inerbita + cespugliamenti consolidanti

[+]= corridoi protetti passaggio fauna

[-] = diminuzione della sezione utile di deflusso e necessità di maggiore manutenzione

[+/-] = rallentamento della velocità di deflusso

più elevata e, con la crescita degli arbusti spondali, verrebbe anche a costituirsi un corridoio di passaggio protetto per la fauna.

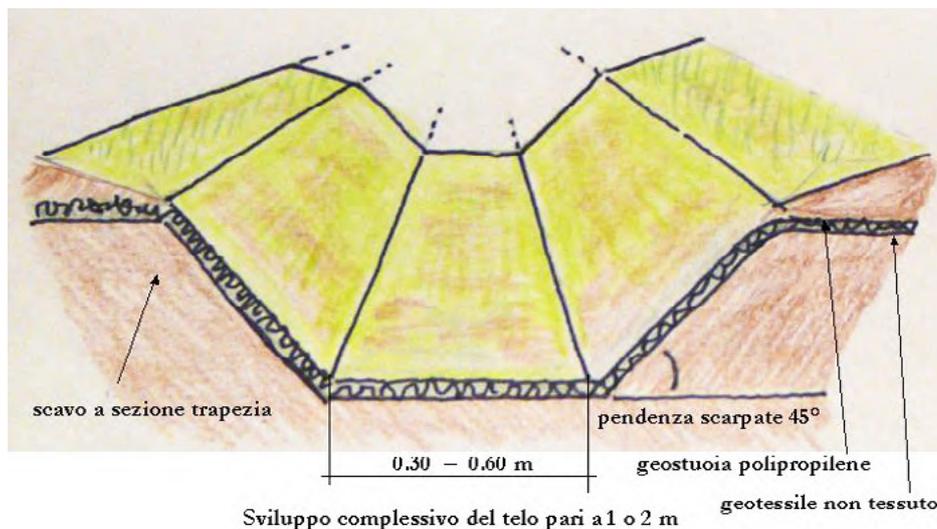
Questo tipo di canalizzazioni quindi potrebbe risultare preferibile – ad esempio – in caso di una notevole profondità dello scavo e quindi di un notevole sviluppo della parte in scarpata. Gli svantaggi possono essere di natura idraulica, poiché la presenza di vegetazione spondale determina nel tempo un restringimento della sezione utile di deflusso e quindi dell'efficienza (funzionalità) idraulica della canalizzazione.

Si aggiunge inoltre la necessità di prevedere interventi manutentivi nel medio-lungo termine. Sempre sotto questo aspetto, nel caso in esame si va a determinare, con la crescita della vegetazione, una riduzione della velocità di deflusso per incremento della scabrezza idraulica: questo parametro può risultare vantaggioso o svantaggioso secondo i casi. Nella configurazione delle canalizzazioni semplicemente inerbite, possono adottarsi all'occorrenza interventi di impermeabilizzazione mediante rivestimento con geomembrane polimeriche o bituminose della superficie di scavo, prima del ricarico della sezione col terreno agrario necessario alla rivegetazione.

In genere risulta invece preferibile ricorrere a una accurata compattazione del terreno, evitando di disporre nelle scarpate le suddette geomembrane, al fine di evitare che possano generarsi superfici di possibile scorrimento delle coltri di terra agraria proprio in corrispondenza dei teli impermeabilizzanti.

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Canalizzazioni

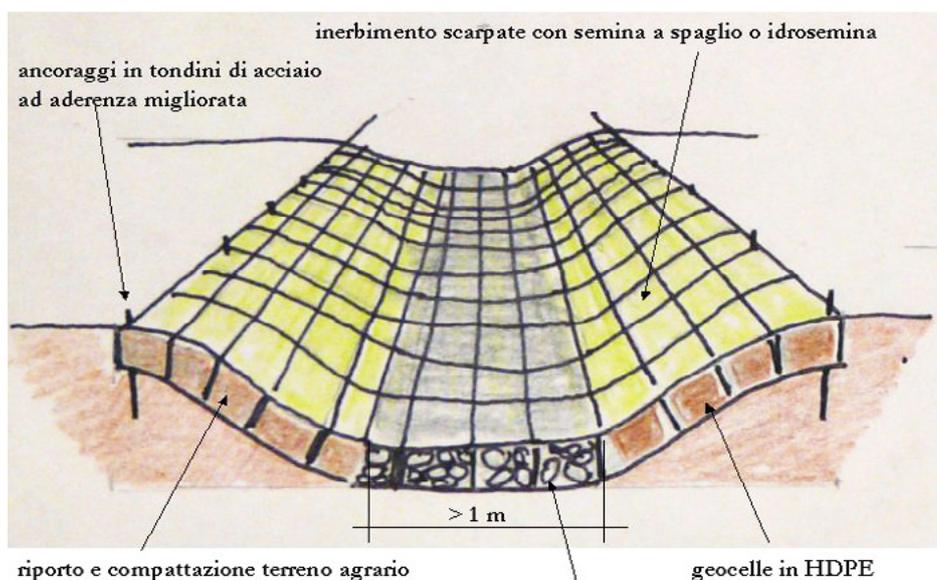


Geosintetici (geocompositi con geostuoie, geocelle)

Esistono in commercio prodotti (geocompositi) che sono costituiti da diversi materiali di rivestimento (geostuoie + geotessili, geostuoie + geomembrane

Canalizzazione in geocomposito (geostuoia+geotessile

ecc.). In particolare nel caso dei geocompositi costituiti da geostuoie accoppiate a geotessili sarà possibile sfruttare i vantaggi combinati di entrambi i prodotti (fig. in basso): la geostuoia favorirà la presa del terreno sciolto sulle superfici in pendenza e servirà da supporto alla rivegetazione, mentre il geotessile andrà a preservare dall'erosione il fondo alveo e le sponde. Sussiste inoltre la possibilità di proteggere dai raggi solari e rivegetare anche le aree di deflusso dell'acqua già impermeabilizzate con teli in HDPE (polietilene ad alta densità) o LDPE (polietilene a bassa densità) armato con geotessili: ciò è ottenibile in maniera ottimale con l'utilizzo di geocelle, ricaricate



di terreno e successivamente inerbite. Anche nel caso delle geocelle è possibile ricorrere all'impermeabilizzazione del fondo scavo, tuttavia – per svariate ragioni – è spesso preferibile evitare l'impermeabilizzazione con teli e utilizzare le geocelle stesse, stendendole sul terreno di fondo e ricaricandole con terra agraria (o ciottolame, nel caso di rivestimento del fondo alveo).

Canalizzazione in geocelle

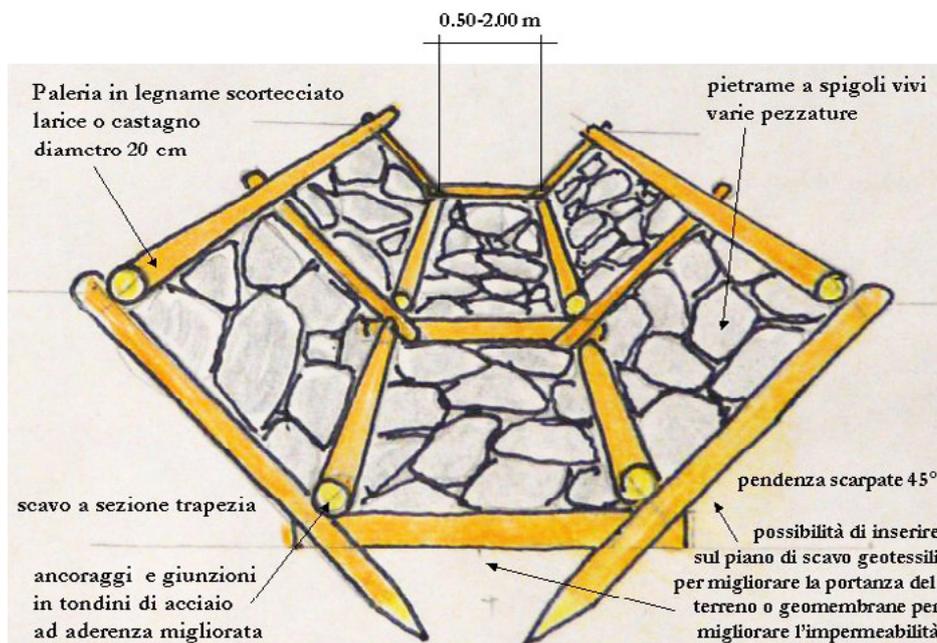
REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Canalizzazioni

In legname e pietrame

Quando la capacità di trasporto solido non è elevata, si può prevedere la costruzione di canalizzazioni in legname e pietrame, di sezione trapezia. Queste costituiscono una soluzione molto perseguita tradizionalmente in diversi interventi di sistemazione con le tecniche di ingegneria naturalistica, in particolare dove risulta agevole sfruttare il pietrame reperito in loco, soprattutto se si presenta in forma lastroide e a spigoli vivi. Questa tipologia di canalizzazione non risulta particolarmente adatta nei casi in cui sia necessario collettare elevate portate d'acqua con minime dispersioni, dal momento che non risulta agevole effettuare la loro impermeabilizzazione con teli di fondo in geomembrana.

Con riferimento alla figura seguente:



Canalizzazione in legname e pietrame

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Canalizzazioni in legname e pietrame

- 1** si procede con lo scavo della sezione prescritta, con mezzo meccanico o a mano;
- 2** vengono infissi nel terreno, pali scortecciati e/o impregnati di legno durabile di latifoglie o conifere autoctone (diametro minimo 20 cm), con angolazione corrispondente alla parete dello scavo (in genere dell'ordine di 45°);
- 3** ai pali di ancoraggio vengono fissati longitudinalmente, mediante chiodi di ferro da edilizia (tondini in acciaio ad aderenza migliorata di diametro 10 mm) o cambre, elementi di lunghezza variabile da 2 a 4 m, alla quota di fondo alveo e alla quota di sponda;
- 4** nei quadri in legname così costituiti sui lati e sul fondo vengono disposti lastroni o blocchi di pietrame, intasandoli con materiale terroso;
- 5** è consigliabile inerbire il terreno di riempimento dei giunti fra le pietre;
- 6** la struttura può essere completata e irrigidita dall'inserimento nella parte sommitale di una traversa in legno a intervalli di alcuni metri; tuttavia, poiché in eventuali episodi di piena con trasporto di materiale solido (in particolare ramaglie) la sezione di deflusso potrebbe ostruirsi, si ritiene preferibile vincolare ulteriormente i pali infissi mediante ancoraggi in sponda anziché realizzare i traversi di collegamento tra i pali stessi.

Varianti costruttive possono prevedere la realizzazione di canalizzazioni o il consolidamento di impluvi esistenti attraverso la protezione delle *sponde* con la posa di tondoni in legname ortogonali alla direzione di massima pendenza, la realizzazione di piccole soglie in corrispondenza dei cambi di pendenza e sempre, in mancanza di affioramento della roccia in posto, la stabilizzazione del piano di scorrimento delle acque con la posa di pietrame anche reperito in loco. Le modalità e gli accorgimenti costruttivi sono analoghi a quelli descritti in precedenza.

In acciaio e in legno

Per tutte quelle situazioni localizzate dove sia necessario prevedere repentini cambi di direzione o pendenza delle opere di collettamento delle acque superficiali, si ricorre spesso all'impiego di **canalizzazioni di tipo rigido**. Di diffuso utilizzo sono le *canalette metalliche* aperte, in lamiera di acciaio corrugata e zincata, di forma semicircolare, ancorate al suolo mediante tirafondi. I rinfianchi in terra devono essere opportunamente rivegetati. In tal caso:

- 1** la canaletta deve essere opportunamente collocata in uno scavo che consenta l'afflusso dell'acqua dalle zone laterali senza provocarne il sifonamento;
- 2** i tirafondi di ancoraggio rendono la canaletta solidale al terreno e possono essere costituiti da picchetti in acciaio o, nei casi più complessi, da barre filettate cementate a fondo foro e imbullonate;
- 3** l'impianto di talee di specie arboree o arbustive dotate di elevata capacità vegetativa e il raccordo con il terreno circostante (anche mediante la posa di reti) favorisce la stabilizzazione dell'opera e costituiscono nel tempo un efficace mascheramento della struttura.

L'impiego di *canalette in tavolame di legno* è in genere previsto per la raccolta e lo smaltimento di acque provenienti da altri sistemi di drenaggio. Data la rigidità della struttura, spesso necessitano di pozzetti di raccordo tra i vari tratti costituenti l'intera canalizzazione. Tipico è l'impiego nella realizzazione di taglia-acqua nella viabilità forestale (al posto del tavolate spesso viene impiegato legname in pali tondi).

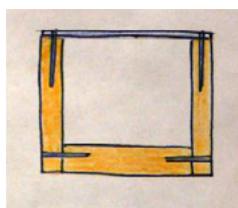
Le canalette in tavolame di legno devono essere realizzate con elementi di legname stagionato e durabile (es. larice o castagno), anche impregnato, avente spessore minimo di 5 cm: fondamentale è la qualità del materiale, che deve essere privo di nodi, aperture o fessurazioni.

Inoltre l'assemblaggio della struttura, costituita da più tratti anche sovrapposti nelle sezioni terminali, deve essere tale da evitare qualsiasi soluzione di continuità, assicurando così l'allontanamento di tutte le acque convogliate nella rete di scolo. Risultano quindi essenziali le modalità di collegamento tra i vari elementi, che potranno essere realizzate attraverso chiodatura o graffatura metallica, nonché

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ Canalizzazioni in acciaio e in legno

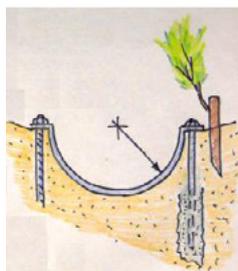


quelle di ancoraggio della struttura al suolo, da eseguirsi sia con picchetti metallici che – eventualmente – lignei. La formazione dell'opera avviene eseguendo prima lo scavo di alloggiamento della canaletta, e provvedendo al montaggio (nello scavo stesso o nell'ambito del cantiere) della canaletta fissando le tavole secondo lo schema progettuale, che potrà prevedere opportuni elementi trasversali lignei o metallici, con funzione di distanziatori, atti a garantire la rigidità della struttura. I vari tratti così costituiti e alloggiati vengono ancorati mediante piloti in metallo o in legname, infissi nel terreno fino a rifiuto, o comunque per le profondità prescritte dal progetto. I picchetti in legname non devono presentare difetti sulle testate (spaccature, ecc.); può essere prevista paleria di lunghezza maggiore, procedendo al taglio della parte eccedente, una volta conclusa l'infissione. In alternativa è consigliabile l'uso di picchetti o tirafondi in acciaio ad aderenza migliorata.



Canalizzazioni in acciaio e in legno

Canalette taglia-acqua, tavolame in legname di larice di spessore minimo 20 cm, chiodate o avvitate e munite di staffe d'acciaio distanziatrici



Canalizzazione in acciaio corrugato a sagoma semicircolare, munite di tirafondi con rinfianchi rivegetati

REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ



In conclusione, pare opportuno ribadire che **tutte le opere di convogliamento delle acque superficiali necessitano di periodiche operazioni di manutenzione**, al fine di garantirne la funzionalità, in quanto l'entità delle precipitazioni negli eventi meteorici di breve durata e il notevole trasporto di massa sui versanti, può pregiudicarne l'efficacia.



REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ

Sistemi drenanti

I sistemi drenanti su un versante sono rappresentati dall'insieme delle opere funzionali a intercettare le acque di infiltrazione del sottosuolo e a recapitarle, lungo vie ben definite o linee preferenziali di deflusso, ai collettori naturali (impluvi, corsi d'acqua).

In particolare, in taluni casi, come nel bacino Terziario Piemontese delle Langhe, questi sistemi sembrano essere l'unico mezzo in grado di produrre significative modificazioni dello stato di attività dei movimenti franosi per scivolamento planare.

Più in generale, le tecniche di drenaggio, siano esse costituite da trincee drenanti, batterie di tubi microfessurati in perforazioni suborizzontali, cunei filtranti o altro, consentono l'abbattimento della quota media della falda acquifera, ovvero la diminuzione significativa della capacità di saturazione di formazioni di terreno, che sono importanti fattori destabilizzanti ed innescanti dei fenomeni franosi per scivolamento.

Il carico idrostatico, per effetto del riempimento di fratture persistenti subverticali può inoltre innescare fenomeni di topling (ossia di ribaltamento flessionale di masse rocciose lastroidi), o essere responsabile di una evoluzione del fenomeno stesso. Si accenna brevemente ad alcune fra le tecniche di impiego generale.

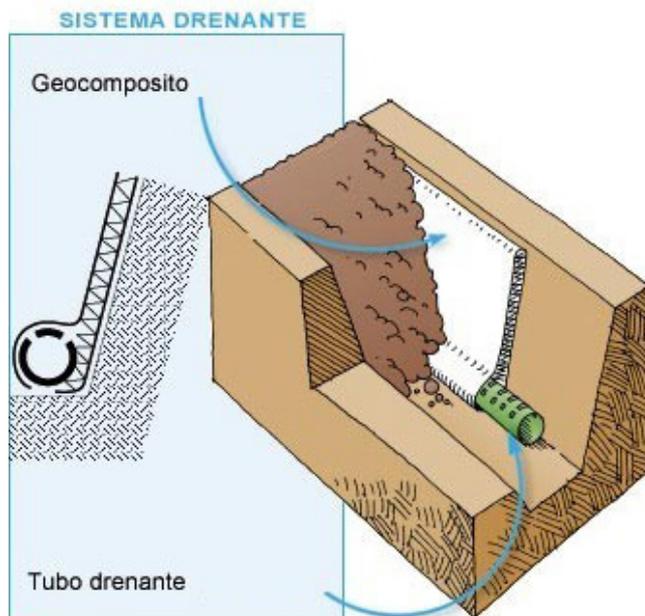


Trincea

Una trincea drenante è generalmente costituita da uno scavo, di dimensioni assai variabili (da 1 ad alcuni metri), che viene eseguito con ragno meccanico o con escavatori cingolati. Occorre ricordare che le trincee più profonde devono essere eseguite, per ragioni di sicurezza delle pareti di scavo in approfondimento, in almeno due riprese, utilizzando escavatori a tre bracci. Il fondo e le pareti dello scavo vengono quindi rivestite con la posa di geotessile non tessuto ad azione filtrante.

Alla base dello scavo vengono posati tubi in polietilene o polipropilene microfessurati, di adeguato diametro.

Lo scavo viene quindi riempito con materiale lapideo calibrato, di varia granulometria, che costituisce il corpo drenante della formazione. Il riempimento viene quindi coperto con i risvolti del geotessile, e lo scavo viene completamente chiuso dal materiale di risulta.



REGIMAZIONE IDRAULICA E DRENAGGIO FORMAZIONI SOGGETTE A FENOMENI DI INSTABILITÀ Sistemi drenanti – Trincea

I tubi corrugati microfessurati possono essere rivestiti da un geotessile non tessuto filtrante. La guaina di rivestimento svolge un efficace effetto di filtrazione contro le impurità e il terreno che potrebbero otturare le fessure o penetrare nel tubo insieme ai fluidi drenati. L'azione del rivestimento assicura così il mantenimento nel tempo dell'efficacia drenante del tubo.

In scavi di dimensioni minori, ed in particolare su pendici dove risultano difficile l'accesso, l'approvvigionamento e la messa in posto del materiale ghiaioso, può essere posto nello scavo il solo tubo microfessurato, avvolto in un geocomposito tridimensionale con specifica funzione drenante. Il geocomposito deve essere appoggiato alla parete dello scavo che intercetta per prima le linee di flusso (ovvero la parete di monte di uno scavo a mezza costa). Il riempimento viene invece effettuato con il materiale di risulta dello scavo.



Opere in legname

Tra i materiali inerti, il legname è forse il più utilizzato e viene impiegato con funzione di consolidamento. Si usano poche tipologie di legname, che devono risultare idonee per proprietà meccaniche e durabilità: larice e castagno sono i materiali più diffusi e, per ridurre la velocità di degradazione, vengono scortecciati.

Il diametro dei pali non deve essere inferiore ai 20 – 25 cm: tondame di minore diametro può essere impiegato solo per opere che non abbiano caratteristiche di sostegno, mentre per opere idrauliche i pali possono avere diametro anche di 30 cm e oltre.

Palificate semplici

Sono **opere di contenimento superficiale** da impiegare nella sistemazione di scarpate in frana, allo scopo di stabilizzarne il terreno coinvolto. Consentono un discreto consolidamento strutturale in ragione della profondità raggiunta dal sistema di ancoraggio e dallo sviluppo dell'apparato radicale delle piantine e delle talee messe a dimora.

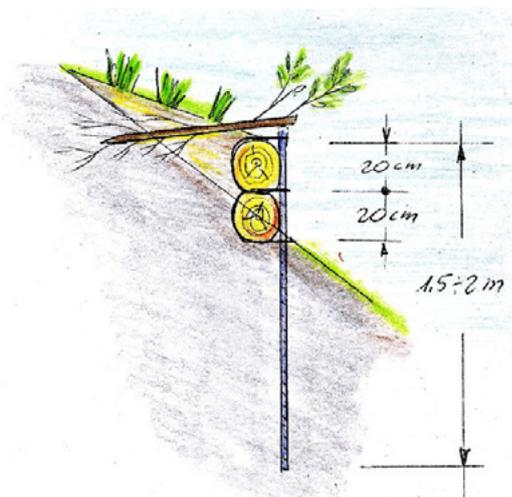
Per la costruzione di una *palificata semplice* (talora detta *palizzata*) si utilizza tondame scortecciato idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice) di diametro maggiore di 20 cm, disposto perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, legato e fissato a valle da picchetti (piloti) in legno o profilati o tondini in acciaio ad aderenza migliorata, per profondità variabili da 1.5 a 2 m (minimo 1 m), con densità di circa 3 piloti al metro lineare. La profondità dei piloti può essere incrementata in funzione delle caratteristiche della formazione; i piloti metallici consentono una maggior profondità di infissione.

Per soddisfare particolari esigenze di consolidamento, possono prevedersi sistemi di ancoraggio profondo, con l'impiego di micropali o ancoraggi a rapida infissione. Il foro di ancoraggio viene in questi casi iniettato con malta cementizia.

Nella parte in elevazione della struttura possono essere sovrapposti più pali orizzontali (scortecciati), a costituire gradoni di altezza generalmente non superiore a 0.5 m (*palificate semplici a tronchi sovrapposti*).

OPERE IN LEGNAME

Palificate semplici



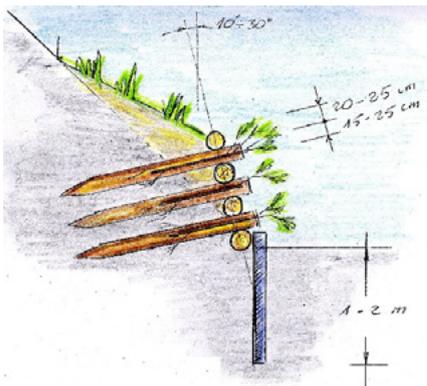
Le palificate possono essere disposte a formare linee continue sul versante, distanziate di 2 - 4 m, oppure a linee alterne, a scacchiera.

La palificata semplice viene consolidata dall'inserimento di talee di specie arbustive o arboree ad adeguata capacità vegetativa e capaci di emettere radici avventizie dal fusto (diametro minimo 2 cm) in numero di almeno 20- 30 al metro.

A monte della palificata vengono messe a dimora piantine radicate, previo eventuale scavo di una banchina di posa.

Tra due ordini di palificate può essere prevista la stesura di reti in fibra naturale con funzione antierosiva. Il terreno viene inerbito mediante idrosemina o semina manuale a spaglio.





Palificate vive di sostegno

Palificate di sostegno a una parete

Le **palificate di sostegno a una parete** costituiscono una evoluzione delle palificate semplici data dall'inserimento di pali trasversali (traversi) tra i pali orizzontali sovrapposti (correnti). Anche queste strutture sono ancorate alla base da pali in legno, oppure da profilati o tondini in acciaio ad aderenza migliorata (diam. min. 32 mm). Il tondame utilizzato, di legno idoneo e durabile di latifoglia (castagno) o conifera (larice), ha diametro di 20 - 25 cm.

L'elevazione di questa struttura consente il **recupero di quote maggiori** rispetto alla palificata semplice e, rispetto alle palificate di sostegno a doppia parete (trattate successivamente), richiede un minore volume di sbancamento.

I pali trasversali (traversi) sono infissi fino a raggiungere una coltre di terreno stabile e pertanto assicurano, con la resistenza ad attrito tra pali infissi e terreno indisturbato, il contrasto a spinte moderate del pendio.

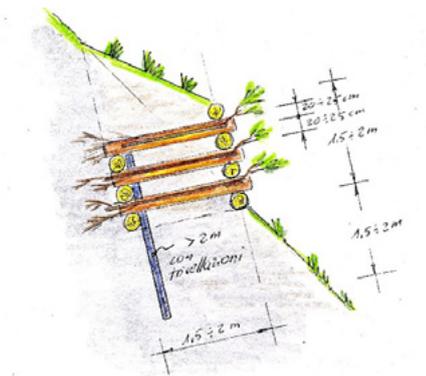
Per questo motivo sono anche indicate come *palificate a infissione*.

Per conferire alla stessa maggiore stabilità e capacità di consolidamento possono essere aumentate sia la lunghezza e la dimensione degli ancoraggi, sia quella dei traversi in legname, che vengono infissi nel pendio.

Il completamento dell'opera si ha con il riempimento dello spazio residuo individuato fra il pendio e la parete in legname con strati di materiale ghiaioso-terroso proveniente dallo scavo stesso o riportato, alternati alla posa di talee o piante disposte contigue orizzontalmente, appartenenti a specie arbustive e/o arboree dotate di elevata capacità vegetativa e in grado di emettere radici avventizie dal fusto interrato (min. 100 talee e/o 5 piantine radicate per metro quadrato di paramento esterno).

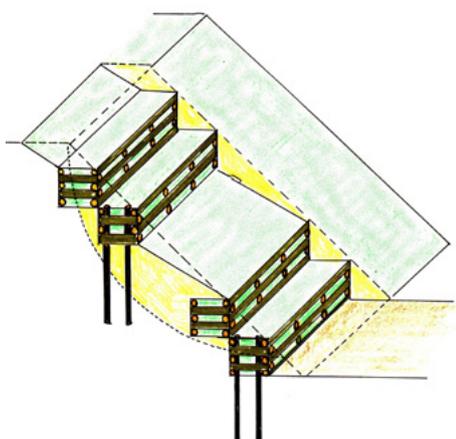


OPERE IN LEGNAME



Palificate di sostegno a doppia parete

Le **palificate vive di sostegno a doppia parete** sono strutture autoportanti utilizzate di regola nella ricostruzione di versanti che sono stati interessati da fenomeni franosi. Esse possono svolgere una funzione di sostegno, contenimento al piede e consolidamento strutturale dei pendii. Queste strutture possono svolgere una più efficace azione, rispetto alle tecnologie tradizionali (muri, scogliere, gabbioni) in quanto:



- supportano piccoli assestamenti del terreno;
- non necessitano di una struttura di fondazione;
- possono essere messe in opera a varie quote del versante, anche su pendii di difficile accesso;
- sono in generale più leggere;
- consentono numerose varianti costruttive al fine di migliorare ulteriormente le funzioni drenanti e/o consolidanti;
- si inseriscono in modo ottimale nell'ambiente, con particolare riferimento alle aree rurali e montane e laddove si debbano comunque risolvere problemi di consolidamento dei terreni, ottenendo al tempo stesso i migliori risultati in termini naturalistici e paesaggistici.



OPERE IN LEGNAME

Palificate di sostegno a doppia parete

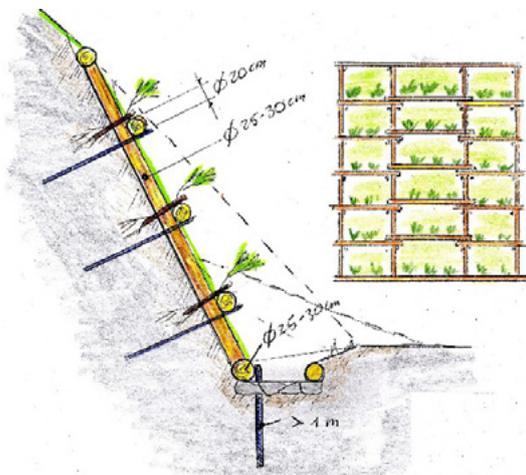


La palificata di sostegno a doppia parete è un manufatto a gravità, costituito da una sorta di cassa in pali di legno a struttura cellulare, riempita di materiale inerte e di materiale vegetale. Lo spessore minimo della struttura è dell'ordine del metro (tipico è l'ingombro di 1.5 m), per un'altezza che non supera il doppio della base, anche in strutture a paramento inclinato. Altezze maggiori possono essere raggiunte con la disposizione delle palificate di sostegno a gradoni. I materiali impiegati per la costruzione sono, analogamente a quanto descritto per le strutture più semplici, pali di legno durevole di latifoglia (castagno) o conifera (larice), scortecciati ed eventualmente impregnati con verniciatura oppure in autoclave, di diametro minimo 20 –25 cm. Un adeguato ancoraggio deve essere previsto, particolarmente in formazioni detritiche fini (sabbie, limi, ecc.) mediante piloti in legno o acciaio (usualmente sono utilizzati tondini con diametro di 32 mm o profilati) posti anteriormente al paramento di monte e/o al paramento

di valle: in casi particolari si possono prevedere ancoraggi con impiego di micropali trivellati o a rapida infissione.

Il materiale di riempimento può essere quello derivante dagli scavi, eventualmente con aggiunta di ciottolame per migliorare le condizioni di drenaggio o massa specifica; la funzione drenante può essere ulteriormente migliorata usando esclusivamente materiale ghiaioso o sabbioso-ghiaioso, eventualmente avvolto in geotessile non-tessuto con specifica azione filtrante.





Grate vive

Le grate vive (o *a camera*) in legname rappresentano una valida tecnica di sistemazione di scarpate anche nel caso di elevata acclività ($40^\circ - 60^\circ$), e quando non siano possibili interventi di rimodellamento del pendio per ridurne l'inclinazione

e permettere così l'impiego di altre tipologie.

Il caso tipico di applicazione è nella sistemazione delle scarpate a monte dello scavo di tracciati stradali. La funzione di questa tecnica è quella di prevenire o correggere la tendenza della scarpata all'erosione regressiva.

La struttura è costituita da una serie di tronchi verticali, aderenti alla scarpata, e distanziati tra loro da 1 a 2 metri. Su questi vengono fissati, mediante chiodatura con barre di acciaio ad aderenza migliorata, dei tronchi orizzontali a costituire maglie quadrate o rettangolari (tipicamente di 1×1 m, 1.5×1.5 m, 1×2 m, 1.5×2 m). Il toname utilizzato, di legno idoneo e durabile di latifolia o conifera, scortecciato ed eventualmente impregnato, ha diametro di 20 - 25 cm. La grata può poggiare direttamente sul terreno, oppure su opere di sostegno quali palificate a doppia parete, muri in pietrame o scogliere. L'ancoraggio alla scarpata può effettuarsi mediante piloti in legno o con tondini in acciaio (fig. 52), per una profondità dell'ordine del metro, oppure per profondità maggiori con pali a rapida infissione, micropali o altri profilati, se ci si avvale di tecniche meccaniche di infissione/perforazione allora la profondità di ancoraggio dovrebbe essere non inferiore a 1.5 - 2 m.

Rete in fibra naturale di juta o cocco tenuta aderente al versante con rete elettrosaldata 10x10 cm o rete da gabbioni chiodata ai montanti

Ancoraggi profondi in versante detritico (micropali, pali a rapida infissione, profilati o pali in legno)

Corrente di testata $\varnothing 20-25$ cm
canaletta sgrondo acque

Inerbimento con idrosemina, messa a dimora di talee e piantine

Montanti principali inseriti in scanalatura scavata nel versante, in modo da risultare interrati fino a filo scarpata $\varnothing 25$ cm

Corrente di base $\varnothing 25-30$ cm

Travatura orizzontale a travi alterne, chiodata ai montanti con barre di acciaio ad aderenza migliorata $\varnothing 10$ cm

Ancoraggi profondi in versante detritico mediante micropali, pali a rapida infissione, profilati metallici o pali in legno

Travatura orizzontale a travi alterne, chiodata ai montanti con barre di acciaio ad aderenza migliorata $\varnothing 10$ cm

rete in fibra naturale di juta o cocco tenuta aderente al versante mediante rete elettrosaldata 10x10 cm o rete da gabbioni chiodata ai montanti

Montanti principali inseriti in scanalatura scavata nel versante in modo da risultare interrati fino a filo scarpata

Corrente di base $\varnothing 20-25$ cm

Inerbimento con idrosemina messa a dimora di talee e piantine

Corrente di testata $\varnothing 20-25$ cm
Eventuale canaletta sgrondo acque



OPERE IN LEGNAME

Prima di elevare la struttura occorre che il terreno della scarpata sia ripulito da cespugliame e ciottoli, e riprofilato. Inoltre può essere necessario, prima della posa della struttura lignea, proteggere il nuovo profilo di scarpata con reti antiersive ed eventualmente con una rete elettrosaldata o con reti da gabbioni.

L'operazione deve essere completata con l'inerbimento mediante idrosemina e l'impianto di talee e piantine radicate all'interno dei quadri in legname.

Le grate vive possono svilupparsi ad altezza notevole, purché le scarpate oggetto di sistemazione siano opportunamente sagomate. Su **scarpate ripide** (oltre 50°) è opportuno **non elevare la grata oltre i 6 m**, per non pregiudicare la stabilità della struttura.

Data la loro conformazione, le grate vive **non sono opere di sostegno o contenimento** delle spinte dei pendii, ma si impiegano con **una funzione essenzialmente antiersiva e di supporto ad altri interventi di rivegetazione e rinaturalizzazione**.

Tuttavia un incremento della loro resistenza a limitate spinte attive del terreno può essere ottenuto con l'impiego delle tecniche di infissione e perforazione meccanica degli ancoraggi.



Opere in pietrame

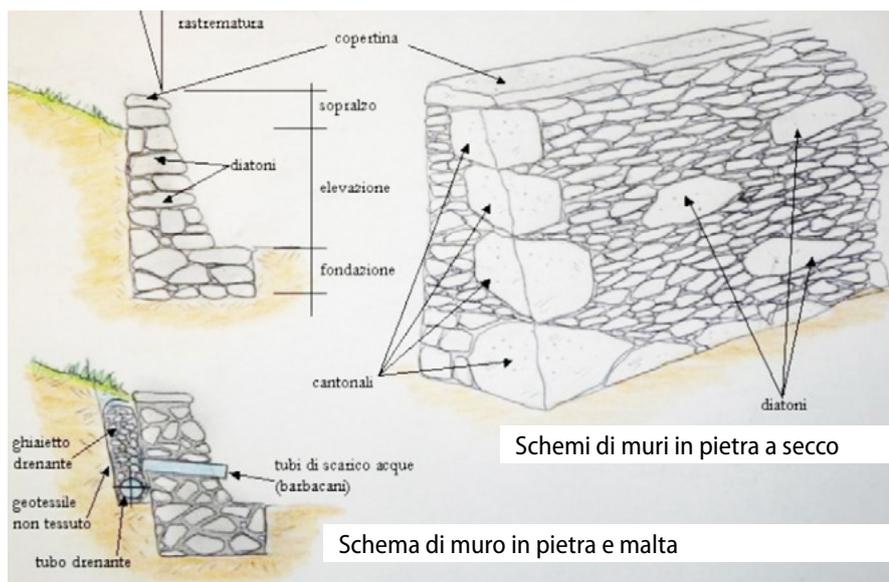
Muri in pietrame

I *muri in pietrame*, a secco o con malta cementizia, sono opere di sostegno a gravità il cui utilizzo ha - nelle regioni alpine - origini antichissime. Caratteristico è l'impiego di pietrame di forma spigolosa e irregolare reperito nel sito di costruzione.

La costruzione di muri in pietrame, particolarmente di quelli a secco, richiede manodopera specializzata e avviene a partire da un piano di fondazione ricavato con scavo a sezione ristretta avente di norma profondità dell'ordine del metro, il cui fondo può essere regolarizzato e stabilizzato con la stesura di uno strato di magrone cementizio. L'elevazione avviene per corsi regolari e a mosaico regolare, per spessori della struttura generalmente non inferiori a 0.5 m, talvolta rastremati verso l'alto (fig. in basso). Il muro in pietrame a secco è una struttura di sostegno perfettamente drenante.

Se l'opera è realizzata con la cementazione degli elementi in pietra questa caratteristica viene però a decadere, dunque l'efficienza del drenaggio può essere opportunamente garantita dalla posa, a monte, di ghiaia drenante avvolta in teli di geotessile

non-tessuto. Inoltre vanno predisposte delle luci per lo scarico delle acque che possono accumularsi alle spalle del muro, dette **barbacani di drenaggio**.



OPERE IN PIETrame

Muri in pietrame



La costruzione deve rispettare diversi accorgimenti costruttivi, i più importanti dei quali consistono nella **disposizione omogenea** di pietrame di diverse dimensioni, in modo da costituire corsi orizzontali regolari e soprattutto un costante sfalsamento dei giunti verticali: un'operazione che risulterebbe molto semplice nella costruzione di un muro in mattoni di laterizio, di forma regolare, ma che richiede in questo caso notevole perizia. Agli angoli delle strutture murarie

in pietrame vengono generalmente posati elementi di dimensioni maggiori, detti **cantonali**, talora anche lavorati da esperti scalpellini.

Altri elementi di maggiori dimensioni vanno opportunamente posati a intervalli più o meno regolari, i **diatoni**, in modo tale da legare il paramento posteriore della muratura con quello anteriore.



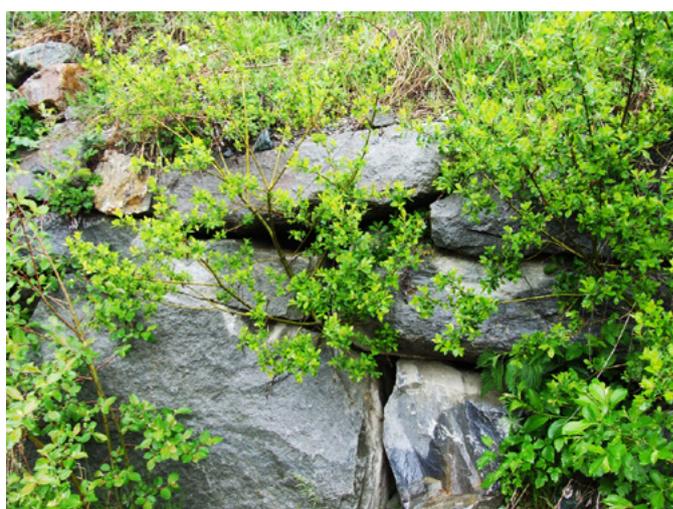
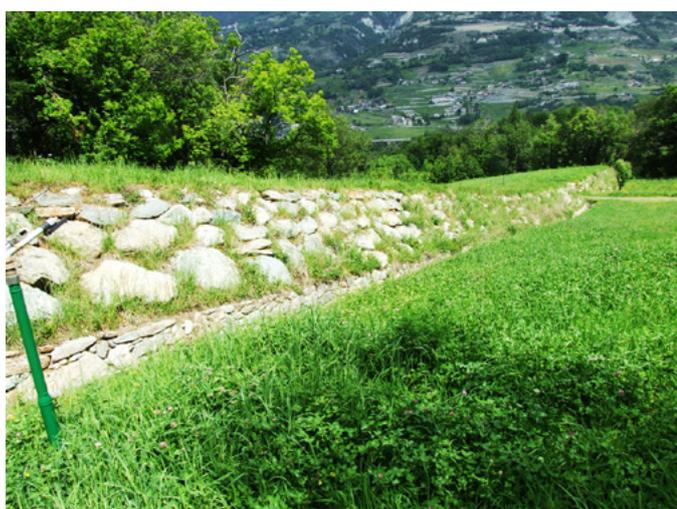
Differenti tipologie e tessiture di muri in pietrame

Scogliere

Le *scogliere* sono opere di sostegno a gravità, ottimamente impiegate per il contenimento al piede di versanti e scarpate. Per la posa in opera vengono utilizzati escavatori, atti a movimentare blocchi di elevata pezzatura media (da 0.3 mc a oltre 1 mc) e di forma irregolare. Anche in questo caso l'elevazione avviene per corsi regolari ed a mosaico regolare, avendo cura di stendere strati di terra vagliata sopra ogni corso di blocchi per ottenere l'intasamento dei vuoti e consentire la rivegetazione, che viene effettuata con talee di salice di idoneo diametro.

Queste strutture sono caratterizzate da buona deformabilità (assorbono gli assestamenti del terreno) e drenaggio (migliorabile con uso di tubi-dreno e geotessili filtranti a tergo dell'opera).

Questa tipologia è più ampiamente descritta nel seguito (v. sezione *Opere idrauliche longitudinali*), in relazione al suo impiego come difesa spondale dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, ove concorrono alle specifiche di costruzione sia fattori statici che i parametri idraulici di riferimento.



Gabbioni

I *gabbioni* sono costituiti da elementi affiancati e sovrapposti a formare una struttura modulare, assimilabili a “scatole” in rete di acciaio a doppia torsione, zincata.

Tali scatole metalliche – prefabbricate – sono riempite di pietrame di dimensioni superiori a quelle delle maglie della rete, ed eventualmente (ovvero parzialmente) intasate con terreno. Il pietrame di riempimento deve essere sistemato in modo da lasciare il minor numero di vuoti possibile. Sono opere deformabili, permeabili all’acqua e alla vegetazione.



Sistemazioni idrauliche

Con il termine sistemazioni idrauliche si intendono tutte le attività e gli interventi nei corsi d'acqua volti a modificare il regime di moto dell'acqua, principalmente con i seguenti scopi:

- ridurre i fenomeni di erosione in alveo e nei versanti;
- ridurre la probabilità del verificarsi di esondazioni;
- modificare il regime del trasporto solido;
- imporre condizioni di *equilibrio*, precedentemente perdute dal corso d'acqua, per cause naturali o antropiche

In generale occorre distinguere tra le opere di sistemazione del tratto montano dei corsi d'acqua (torrenti), da quelle di sistemazione del tratto medio-vallivo, di carattere specificatamente fluviale. Nel primo caso, gli interventi sono prevalentemente orientati a ridurre i fenomeni di erosione e, più in generale, a ridurre gli effetti nocivi legati al trasporto di sedimenti. Nel secondo caso, gli interventi sono prevalentemente mirati a ridurre il rischio di esondazioni in aree vulnerabili, attraverso la realizzazione di manufatti, quali arginature, casse di espansione, risagomatura degli alvei, ecc.

SISTEMAZIONI IDRAULICHE



Sistemazione con briglie



Sistemazione con soglie

Opere idrauliche trasversali: briglie e soglie

Sono opere idrauliche, trasversali al corso d'acqua, di sbarramento (con creazione di salti morfologici) di alvei naturali.

Sia le briglie che le soglie sono utilizzate per:

- la **stabilizzazione** e la **correzione** del profilo di fondo in alvei e impluvi;
- la **trattenuta di materiale** solido o legnoso fluitato;
- il **rallentamento** della corrente.

La differenza tra le due tipologie è piuttosto sottile.

Una **soglia** è un'opera realizzata in scavo nel corso d'acqua, che determina un salto del suo profilo longitudinale. Il profilo, caratterizzato da una certa pendenza originaria, viene portato per un breve tratto a disporsi (quasi) in orizzontale: il salto generato determina una dissipazione dell'energia cinetica del deflusso idrico e un brusco decadimento della capacità di trasporto solido. Ovviamente la superficie di fondo alveo sulla quale avviene questa dissipazione di energia deve essere protetta da idonei manufatti. Una **briglia** invece, può essere realizzata anche elevando il manufatto rispetto alla quota di profilo originario del corso d'acqua, al fine di conseguire lo stesso tipo di risultato. Il cambio di pendenza avviene dunque a monte di tale punto, dove la struttura viene realizzata. Molte possono essere le tipologie di briglie e di soglie e spesso, nella miglior configurazione costruttiva, **sono accoppiate** (briglia di formazione

del salto e soglia di dissipazione dell'energia cinetica del corso d'acqua).

Si ricorda che una successione di sbarramenti (briglie e/o soglie) può svolgere una effettiva correzione del profilo di fondo di un corso d'acqua, e quindi una **modificazione della sua capacità erosiva**, mentre le singole tipologie di opera hanno efficacia solo sulla componente di trattenuta del trasporto solido.



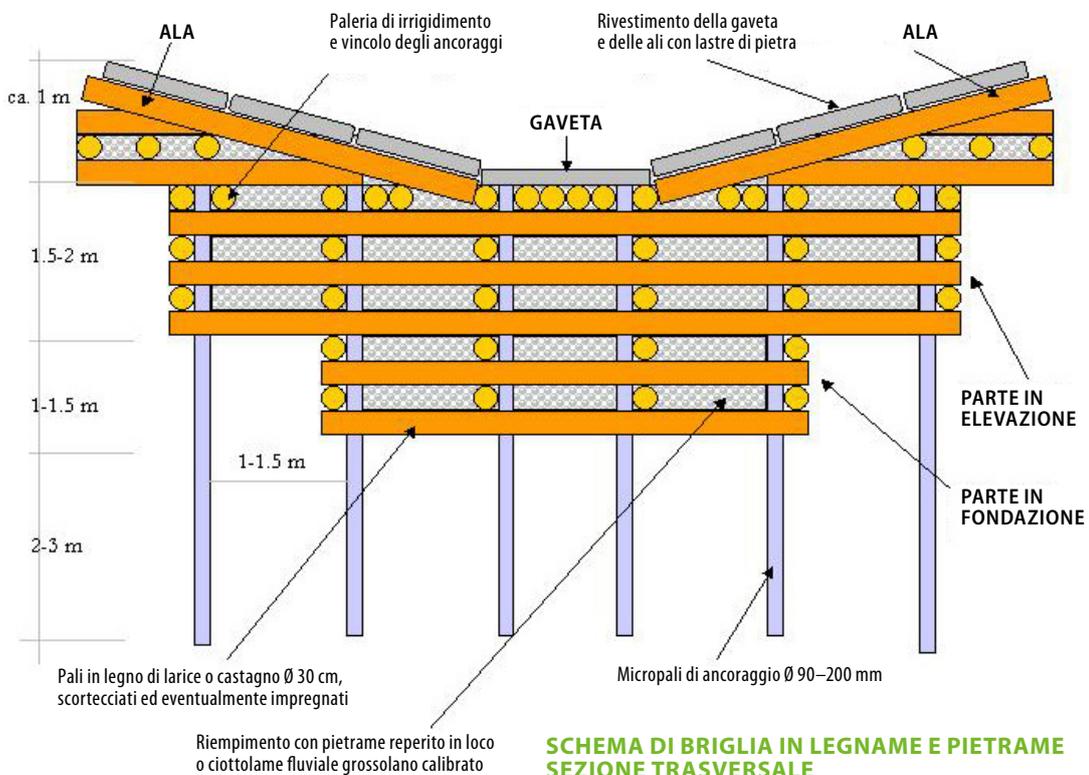
Briglie in legname e pietrame

Nel panorama delle cosiddette tecniche naturalistiche, le *briglie in legname e pietrame* vengono costruite predisponendo un cassone di contenimento mediante incastellatura di pali in legno scortecciato, idoneo e durabile di latifoglia o conifera, di diametro non inferiore a 30 cm, da riempire in seguito con materiale lapideo (anche reperito in loco).

Nella sua configurazione più completa una briglia è composta da:

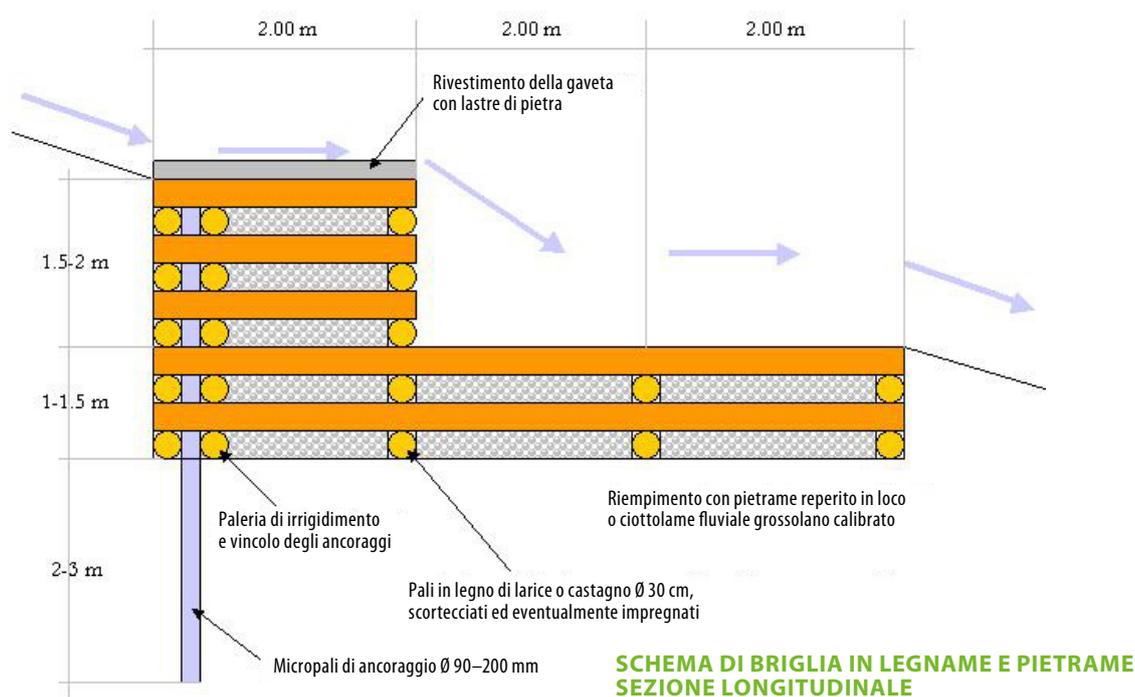
- **corpo della briglia:** parte di fondazione (sotto il livello di fondo alveo) e parte in elevazione;
- **soglia di dissipazione;**
- **gaveta:** sezione di forma trapezoidale che indirizza il deflusso idrico, solitamente posta al centro della struttura;
- **ali:** porzioni laterali che collegano la struttura alle sponde.

Le briglie in legname e pietrame presentano buone caratteristiche per quanto riguarda l'assorbimento di piccoli assestamenti dovuti a movimenti delle sponde e possono essere messe in opera anche in luoghi di difficile accesso.



SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Briglie in legname e pietrame



Il tratto di alveo immediatamente a valle della struttura deve essere pavimentato con pietrame per evitare fenomeni di scalzamento (soglia di dissipazione); è inoltre opportuno prevedere una buona penetrazione delle ali nelle sponde onde impedire l'aggiramento della struttura da parte dell'acqua.



Opere idrauliche longitudinali

Le **difese spondali** in materiale lapideo sono opere disposte parallelamente alla direzione di deflusso della corrente, e hanno anzitutto la funzione di proteggere le sponde dall'azione erosiva del corso d'acqua. Ad alcune di esse si aggiunge la funzione di contenere in alveo la portata di piena, con adeguato franco di sicurezza e scongiurare, dunque, eventi di esondazione nei terreni adiacenti al corso d'acqua. Gli interventi di difesa spondale che utilizzano materiale lapideo sono, generalmente:

- scogliere e gettate in pietrame;
- gabbioni e materassi.

Le sponde dei corsi d'acqua soggette a elevate sollecitazioni idrodinamiche vengono solitamente protette con **scogliere** o **gettate in pietrame**, nonostante la seconda tipologia di opere (considerata obsoleta) venga ormai impiegata solo per interventi di elevata urgenza. Le differenze sostanziali esistenti tra scogliere e gettate sono imputabili alle dimensioni del materiale lapideo utilizzato e alla modalità con cui esso viene collocato sulle sponde del corso d'acqua: le **scogliere** sono costituite da massi caratterizzati da maggiori dimensioni, collocati in opera singolarmente, mentre le pietre che formano le **gettate** sono decisamente più piccole e sono scaricate alla rinfusa.

La scelta delle dimensioni dei massi deve essere fatta in funzione delle sollecitazioni meccaniche a cui verranno sottoposte le opere: il progettista deve considerare quindi lo **sforzo di trascinamento** esercitato dalla corrente e le **sottopressioni idrauliche**. I massi che costituiscono gettate e scogliere devono comunque avere dimensioni decisamente maggiori rispetto a quelli che la corrente è in grado di trascinare a valle in occasione di piene caratterizzate da portate di adeguato tempo di ritorno (maggiore di 10-20 anni).

Nel caso in cui il pietrame venga recuperato in alveo è necessario verificare che non abbia forma eccessivamente tondeggiante, poiché avrebbe una tendenza alla mobilità maggiore di quella posseduta da un masso a forma irregolare e spigoloso.

SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Opere idrauliche longitudinali

In alcuni casi, al fine di aumentare la resistenza all'azione di trascinamento esercitata dalla corrente gli spazi vuoti tra i massi che costituiscono le scogliere e le gettate vengono riempite con malta cementizia. I riempimenti, oltre a esercitare un effetto sigillante, incrementano il legame tra i massi formando una struttura in grado di resistere a sollecitazioni maggiori.

Il **principale svantaggio** di questa tecnica è data dall'**impoverimento ecologico del corso d'acqua**, imputabile alla drastica riduzione dello scambio freatico tra il corso d'acqua e i terreni adiacenti.

In altri casi i massi che formano una scogliera vengono ancorati tra loro con delle funi di acciaio a mezzo di ancoraggi, anch'essi in acciaio, passanti attraverso fori praticati nei massi stessi: questa tecnica fornisce alla struttura una **resistenza maggiore** all'azione di trascinamento esercitata dalla corrente, tuttavia **non efficace quanto la cementazione** tra i massi, a fronte di un significativo incremento dei costi di realizzazione.

Scogliere rivegetate

La scogliera in massi di cava (o d'alveo) risulta essere quella di più vasta applicazione nel territorio piemontese, soprattutto in ambiente alpino, dove l'attività torrentizia è caratterizzata da elevate capacità di trasporto solido in pulsazioni rapide, determinate da ridotti tempi di corrivazione.

Elevata portata ed elevata capacità di trasporto di massa solida hanno determinato, nella maggioranza dei casi, scelte progettuali volte ad un consolidamento rigido delle sponde fluviali e torrentizie. La tendenza progettuale si è orientata in un primo tempo alla realizzazione di difese spondali in massi di cava e/o d'alveo cementati.

Gradualmente, a seguito delle prescrizioni autorizzative regionali, richiedenti una maggiore attenzione alla necessità di rinaturalizzazione delle sponde, si sono raggiunte configurazioni più adeguate al contesto ambientale e più funzionali al reinserimento paesaggistico di tali strutture, nonché alla ricostituzione e salvaguardia della fascia di vegetazione ripariale naturale. Anche per questo motivo si tende a preferire l'utilizzo di massi di cava, di maggior volumetria, più idonei ad essere posati senza cementazione degli interstizi. Occorre ricordare che tutte queste opere devono essere realizzate in periodi che non interferiscano con la stagione riproduttiva della fauna acquatica.

I parametri caratteristici di queste sezioni-tipo evidenziano che:

- la parte di fondazione della scogliera è molto approfondita, e viene di norma intasata con cls;
- la parte in elevazione dalla quota di fondo alveo è realizzata in massi di cava di adeguata pezzatura (non inferiore a 0.3 mc, talora superiore a 0.8 mc - 1 mc) e di forma irregolare: la quota di elevazione non deve superare quella della sponda naturale;
- i vani presenti tra i massi vengono intasati con terra di scavo o proveniente da fuori cantiere;
- viene effettuato un inerbimento diffuso delle sponde, preferibilmente mediante idrosemina;
- si effettua l'inserimento di talee di specie arbustive dotate di elevata capacità di propagazione vegetativa nella porzione superiore della scogliera, al di sopra della quota corrispondente alle piene ordinarie.

SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Scogliere rivegetate

Nel caso di scogliere munite di taglione (ossia un paramento sommerso in cemento armato che deve scongiurare il rischio di sotto-escavazione della struttura e il suo conseguente scalzamento), lo scavo di fondazione deve essere approfondito per consentirne la realizzazione. In tal caso un valido accorgimento è quello di rivestire la parete anteriore dello scavo del taglione (casseratura *a perdere* del paramento) mediante pietrame; questa soluzione consente di evitare che si verifichi la scopertura delle parti in calcestruzzo ad opera del corso d'acqua, fornendo una ulteriore difesa in chiave antiersosiva.

DIFESA SPONDALE IN MASSI DI CAVA

A = QUOTA DI FONDO SCAVO

A' = QUOTA DI ESTRADOSSO DELLA FONDAZIONE

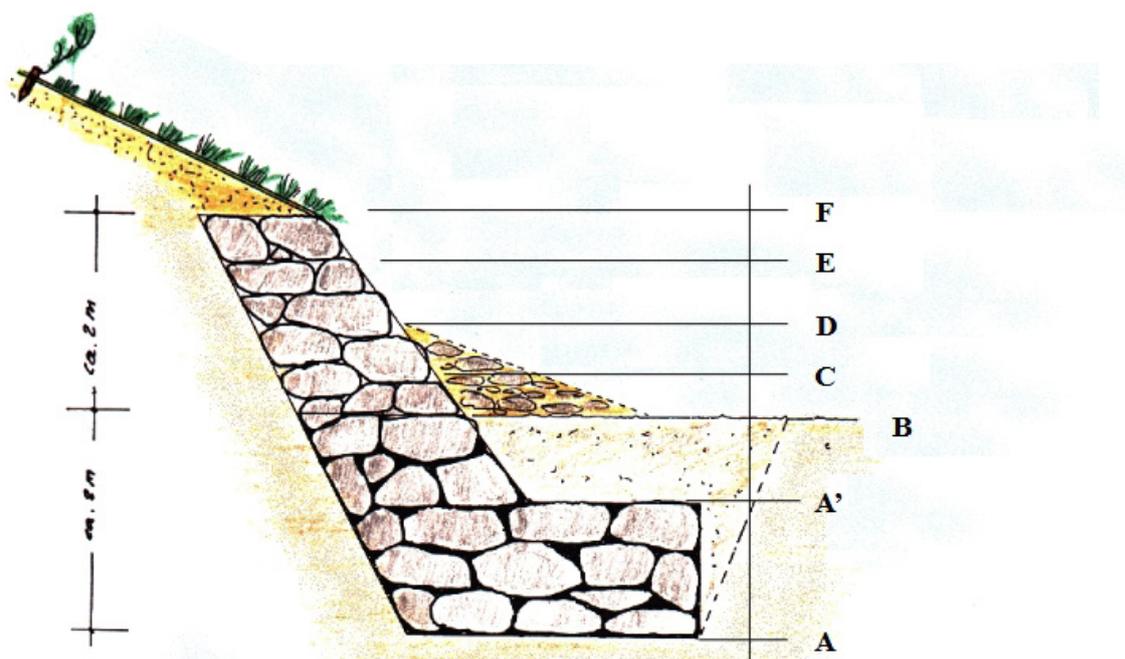
B = QUOTA DI FONDO ALVEO

C = QUOTA DELLA PORTATA DI MAGRA

D = QUOTA DELLA PORTATA ORDINARIA

E = QUOTA DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

F = QUOTA DI TESTA DELLA DIFESA SPONDALE



A = quota di fondo di scavo, vale almeno 2 m nelle difese spondali di fiumi e torrenti di elevata portata.

A', nei medesimi corsi d'acqua si imposta a 1 m al di sotto della quota **B** di fondo alveo.

D costituisce una quota al di sotto della quale risulta idraulicamente controversa la messa a dimora di materiale vegetale legnoso, anche se arbustivo.

E = quota della portata di massima piena. La distanza tra **E** e **F** costituisce il *fianco idraulico* della scogliera. se **E** si pone a quota maggiore di **F** la scogliera si dice *tracimabile*, ma mantiene la propria funzione essenzialmente antiersosiva.

Difese spondali in massi vincolati

Nei casi in cui risulti possibile e preferibile assecondare la capacità di divagazione del corso d'acqua, evitando l'eccessivo irrigidimento delle sponde, può essere previsto l'impiego di scogliere di elevata volumetria, posate interamente senza cementazione, oppure in massi vincolati.

Queste opere costituiscono delle difese spondali tracimabili, con funzione essenzialmente antiersiva e sono realizzate in massi di cava, vincolati mediante funi di acciaio o catene.

Questo tipo di difesa spondale può rivelarsi valida nei fenomeni di dissesto dei versanti generati da scalzamento al piede da parte di corsi d'acqua. Pur essendo priva di fondazioni, può offrire una efficace resistenza al progredire dell'erosione e si adegua, grazie alla flessibilità intrinseca a questo tipo di soluzione costruttiva, alle variazioni e ai locali cedimenti del piano di posa.

La messa in opera di una scogliera costituita da uno o due ordini di massi prevede in genere il posizionamento di blocchi di cava di elevata pezzatura (dell'ordine di 1 m³) e di forma irregolare e interventi di riprofilatura delle superfici spondali.

Gli ancoraggi, in sponda, possono essere realizzati mediante profilati infissi o micropali trivellati, con armatura in profilato metallico o tubo finestrato.

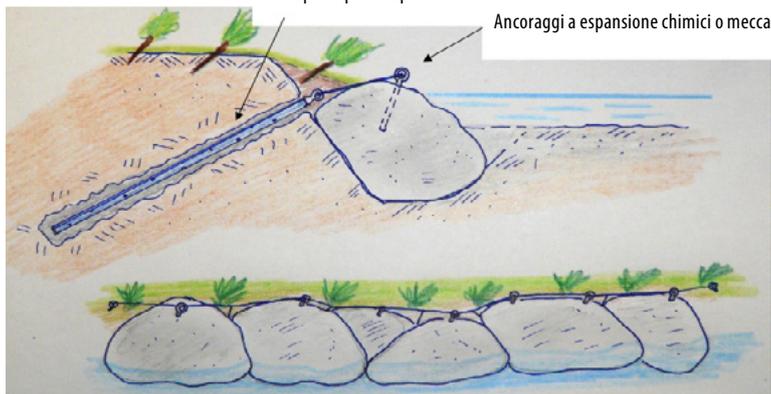
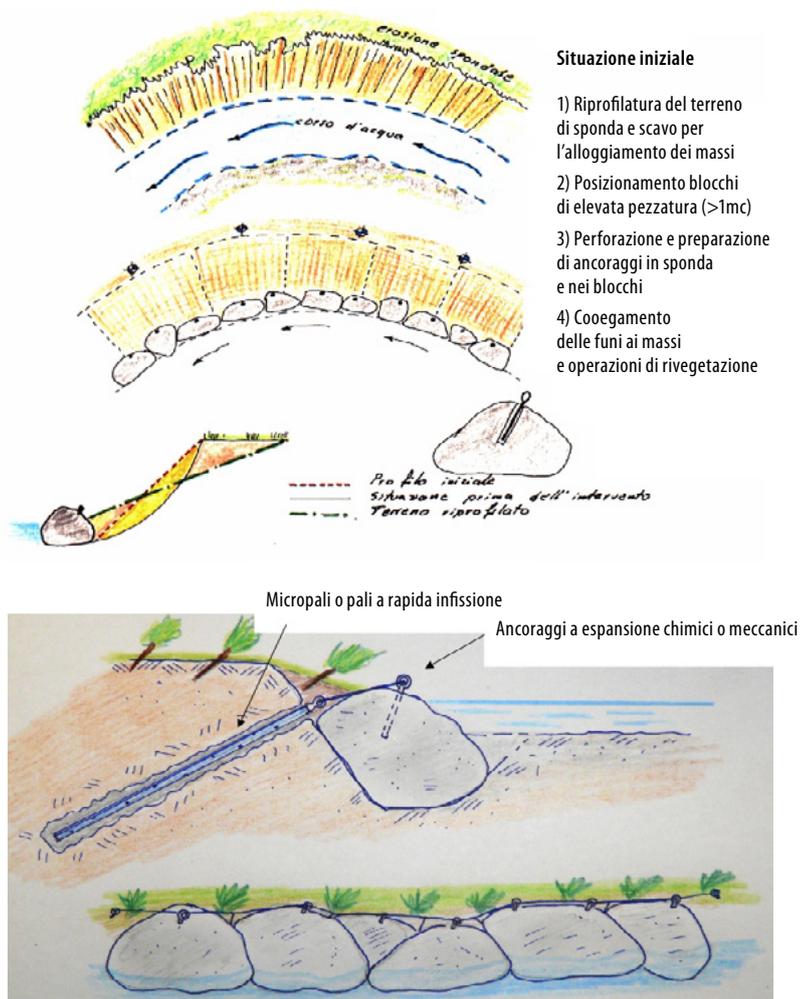
SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Difese spondali in massi vincolati

La figura a lato evidenzia come la stabilità di questo tipo di opera dipenda strettamente dall'efficienza degli ancoraggi. Per questo motivo detti ancoraggi sono rappresentati con micropali trivellati: sono ovviamente possibili soluzioni alternative quali ad esempio l'impiego di profilati di acciaio infissi con battipalo per fondazioni. La rappresentazione si discosta comunque da quelle tradizionalmente rappresentate nella manualistica ordinaria, che prevedeva l'infissione di ancoraggi di assai minore efficacia.

L'esperienza condotta in questi anni ci porta, pertanto, a condurre la seguente riflessione:

- 1 in corsi d'acqua caratterizzati da non elevata capacità erosiva e basse velocità della corrente risulterebbe sufficiente l'impiego di massi di grande pezzatura, senza dover ricorrere all'onerosa operazione di vincolo con funi, ancoraggi e tassellature dei massi;
- 2 in corsi d'acqua di elevata capacità erosiva e di elevata velocità della corrente, può verificarsi che i singoli massi si mettano in movimento, a causa dell'effetto combinato della spinta idraulica e dei cedimenti che si possono verificare sul fondale dell'alveo: in tal caso i massi sono in grado di strappare gli ancoraggi, se questi non sono stati realizzati con le tecnologie sopra descritte.





Coperture diffuse

Le **coperture diffuse con astoni di salice** sono opere di protezione delle sponde dei corsi d'acqua ottenute quasi esclusivamente grazie alla messa a dimora di materiale vegetale. Vengono impiegate per la **stabilizzazione** e il consolidamento delle pendici spondali, per uno sviluppo del pendio, e conseguentemente una lunghezza degli astoni, compresa in genere fra 1.5 e 4 m. Viene dapprima effettuato il rimodellamento della sponda, con la realizzazione di uno scavo alla base della sponda stessa (*savanella*). Gli astoni di specie arboree dotate di elevata capacità vegetativa vengono disposti allineati, a formare uno strato continuo, secondo la massima pendenza, e quindi in senso ortogonale alla direzione di flusso della corrente, con il diametro maggiore disposto verso il basso a contatto con il fosso precedentemente scavato. Lo strato di astoni viene tenuto aderente al terreno tramite più file di paletti in legname idoneo (del diametro di 5 cm e lunghezza di almeno 80 cm) collegati trasversalmente tra loro da fili di ferro. La sponda così rivestita di materiale vegetale sarà quindi ricoperta con uno strato di terra agraria spesso almeno 3 cm.

A protezione del piede della sponda può essere edificata una tipologia di scogliera analoga a quelle precedentemente descritte, e scelta in base alle locali dinamiche idrauliche, fermo restando la necessità che il piede degli astoni impiegati per la rivegetazione della sponda poggi alla quota del pelo libero dell'acqua a regime ordinario. Ne consegue che interventi di protezione del piede della sponda che prevedano scogliere con intasamento dei vani in calcestruzzo e con la formazione di taglioni di fondazione possono pregiudicare l'attecchimento della copertura diffusa riducendo l'apporto di acqua al materiale vegetale.



Opere in terra rinforzata

Le strutture denominate *terre rinforzate* vengono normalmente impiegate nel consolidamento strutturale della base di pendii franati (con ulteriore azione di difesa passiva in caso di realizzazione di strutture in rilevato rispetto al profilo del versante), nella realizzazione di valli paramassi e paravalanghe, di barriere antirumore o come rilevati di sostegno a infrastrutture stradali.

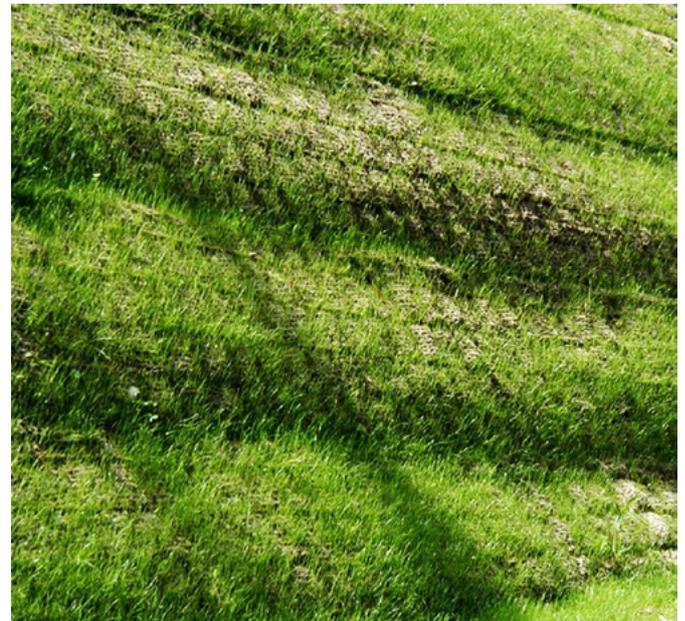
La peculiarità di queste opere è data dalla flessibilità, che consente deformazioni relative qualora si verificassero assestamenti dei terreni, da una capacità drenante generalmente buona (e ulteriormente migliorabile con alcuni accorgimenti), e soprattutto da un'ottima capacità di assorbimento anelastico di elevate energie cinetiche di impatto (dell'ordine dei milioni di kJ) nell'impiego con funzione di paramassi.

Una terra rinforzata viene realizzata con la stesura di geosintetici (di norma geotessili tessuti o geogriglie) che costituiscono l'elemento di contenimento di strati di terreno successivi sovrapposti, ottenendo così una struttura *a cuscini* aventi spessore generalmente compreso tra 20 cm e 80 cm, dove il materiale sintetico rappresenta quindi l'armatura dei cuscini stessi. Il materiale di riempimento, opportunamente selezionato, può provenire integralmente o in parte dallo scavo e deve essere compattato per mezzo di rullo vibrante.

OPERE IN TERRA RINFORZATA

Quale geosintetico può essere utilizzato del geotessile tessuto (a maglie chiuse), oppure un accoppiamento di una geogriglia più esterna, avente funzione strutturale, con una rete in fibra naturale interna, avente funzione di trattenuta della frazione di terreno di riempimento di granulometria minore.

Nel caso di opere in terra rinforzata con utilizzo di geogriglie in abbinamento a reti in fibra naturale, se munite di casseri metallici a perdere (strutture a maglia aperta),



la rivegetazione risulta più agevole anche su pendenze maggiori (dell'ordine di 60° e oltre), e consiste semplicemente in un inerbimento con la tecnica dell'idrosemina (meglio se additivata con *mulch*).

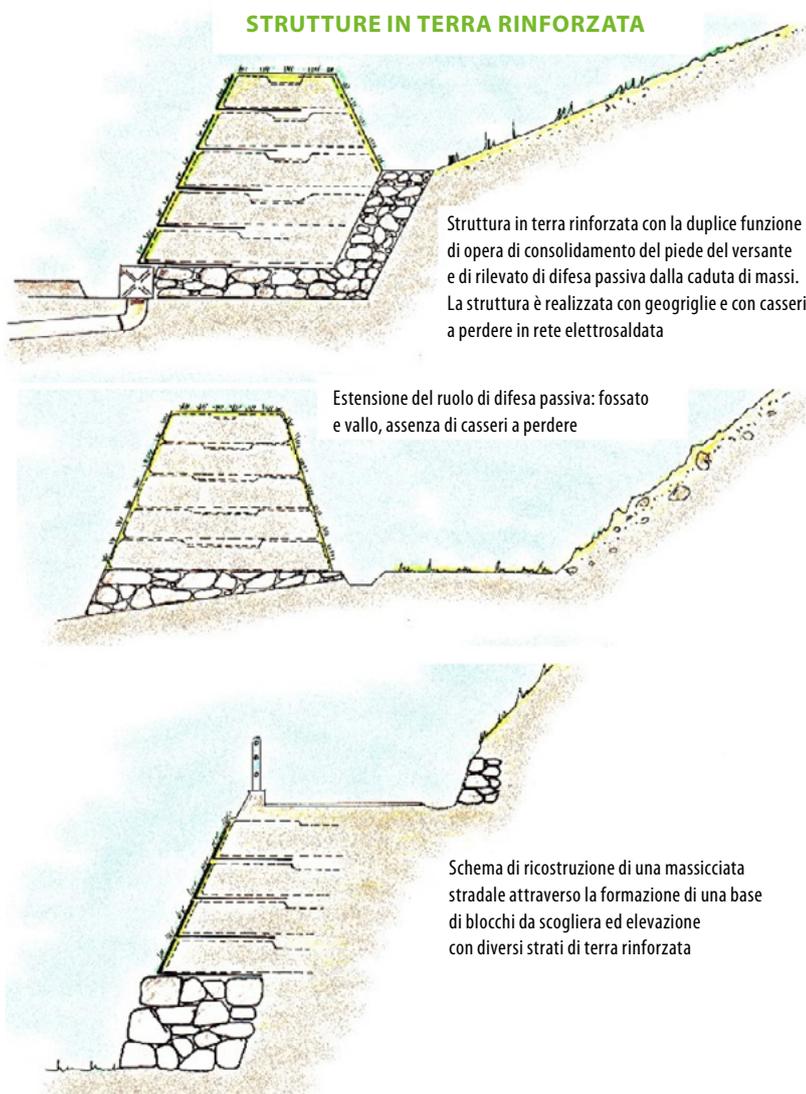
Rilevati e pendii in terra rinforzata possono avere diverse sagome e caratteristiche costruttive, secondo le funzioni alle quali esse devono assolvere.



OPERE IN TERRA RINFORZATA

La duplice funzione di opera di contenimento/consolidamento del piede di un versante e di rilevato paramassi viene sinteticamente rappresentata nella figura.

Questo tipo di struttura può essere allestito nell'ambito di più generali interventi di stabilizzazione di versanti in frana. La figura evidenzia il paramento anteriore della struttura munito di casseri in rete elettrosaldata e la disposizione della struttura su un supporto drenante.



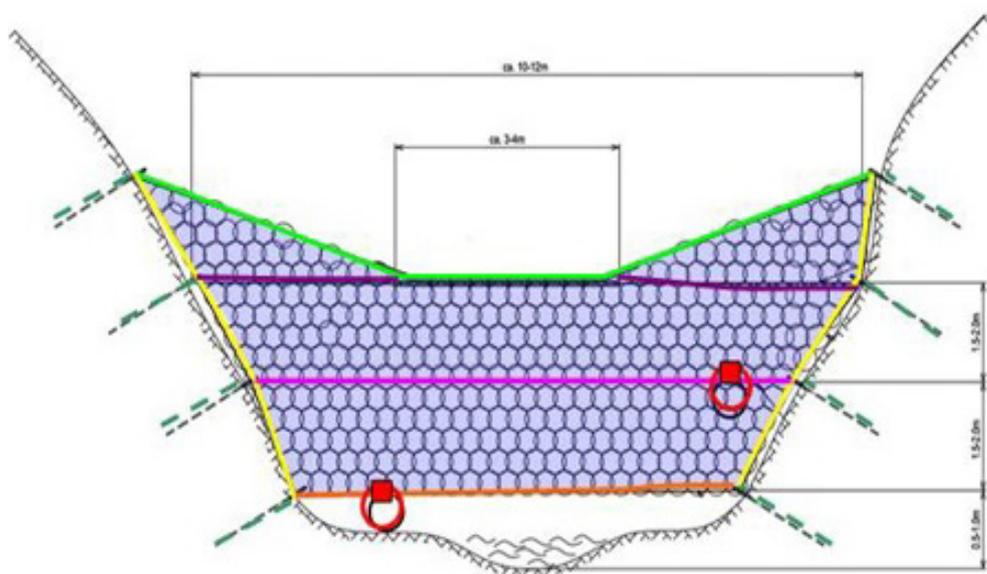
Al centro, viene rappresentato un rilevato in terra rinforzata, utilizzato con funzione di difesa passiva (paramassi ad alto assorbimento di energia). L'elevazione della struttura evidenzia l'assenza di casseri, che sono utilizzati solo in fase di allestimento. Le terre rinforzate possono essere utilizzate validamente come tecniche per la ricostruzione di versanti, (in basso): il notevole incremento dei valori di coesione e angolo di attrito, indotti dall'impiego di geosintetici, consentono il recupero di scarpate anche molto ripide.

Strutture per la difesa passiva da flussi detritici

Le opere da prevedersi per la difesa di abitati, di infrastrutture e di beni esposti a eventi quali valanghe di roccia (*rock avalanches*), flussi detritici (*debris flows*), flussi di fango o lave torrentizie (*mud flows*) ed altre tipologie di trasporto di massa solida e fluitazione di materiale vegetale in pulsazioni di carattere *torrentizio* possono essere essenzialmente di tipo passivo.

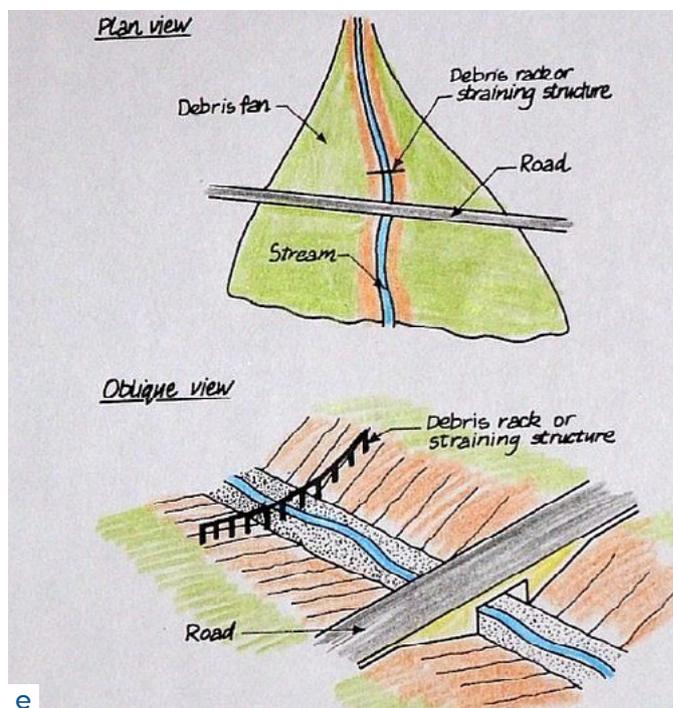
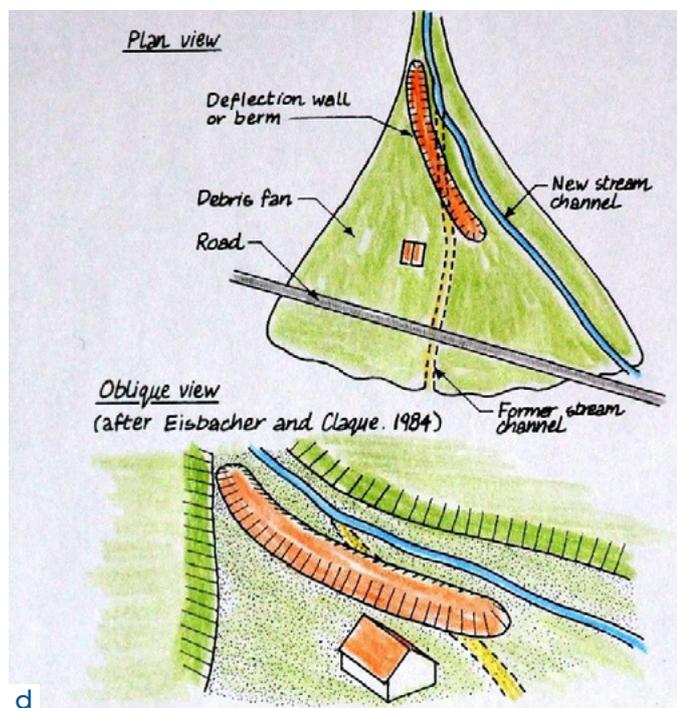
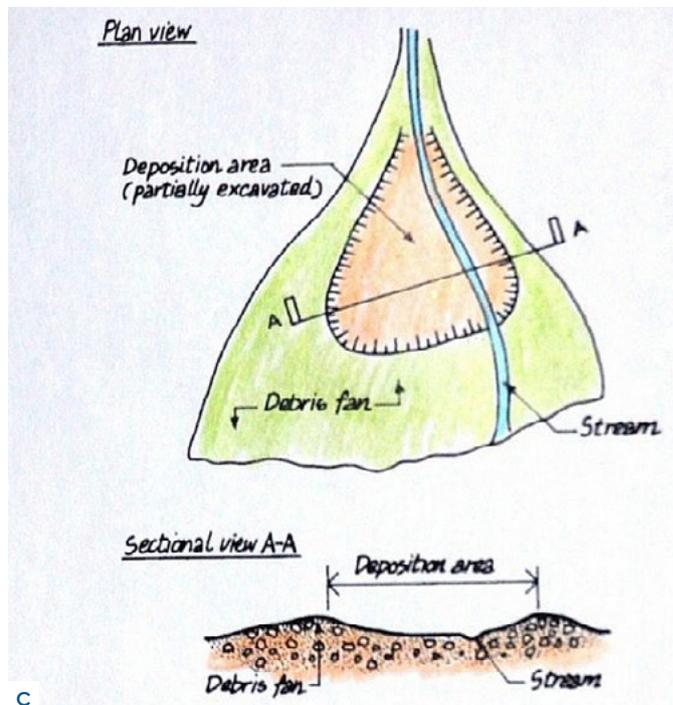
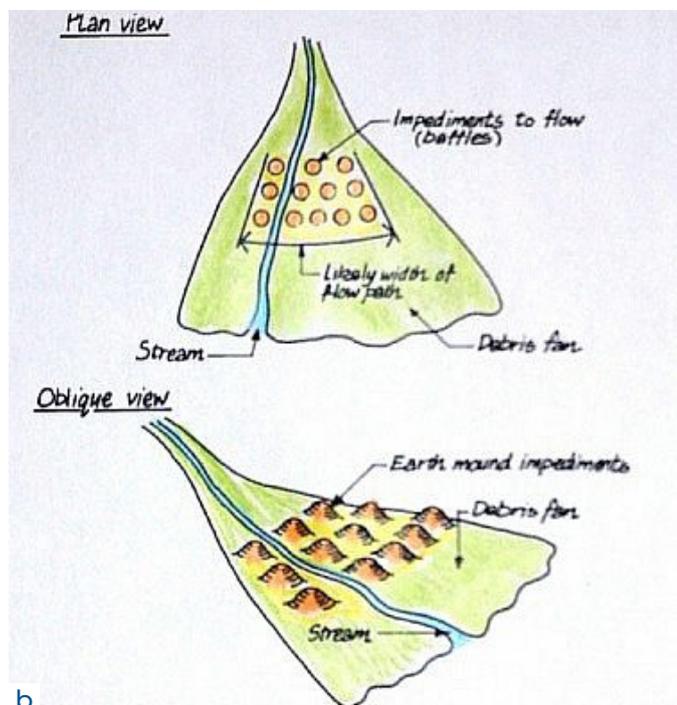
In particolare, le tipologie di intervento sono individuabili nella seguente classificazione:

- reti di trattenuta anelastiche in funi di acciaio, ad alta resistenza all'impatto cinetico (a, g, h);
- posizionamento di dissipatori di energia (baffles) (b);
- formazione di piazze di deposito (c);
- deviatori di flusso in scavo o in rilevato (d);
- realizzazione di briglie selettive (e, l)
- formazione di salti (soglie e briglie, f, i);



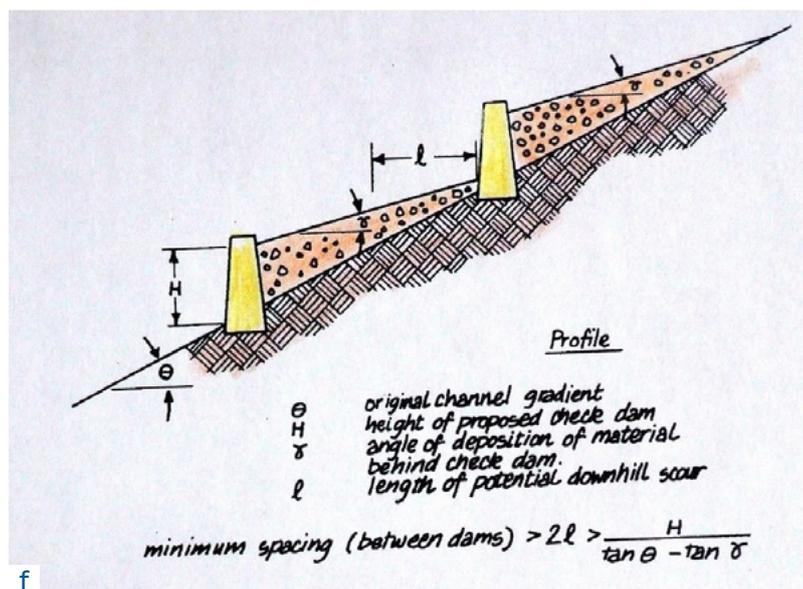
DIFESA DAI FLUSSI DETRITICI

Strutture per la difesa passiva da flussi detritici



DIFESA DAI FLUSSI DETRITICI

Strutture per la difesa passiva da flussi detritici



f



g



i



h



l