

TECNICHE DI SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA - NATURALISTICA

Le operazioni preliminari

Sono necessarie e fondamentali sia per la messa in sicurezza del cantiere da ulteriori dissesti, al fine della realizzazione dei lavori previsti, sia per la riuscita nel tempo delle opere stesse.

Consistono nella **riprofilatura** e **rimodellamento** di versanti e scarpate che sono stati oggetto di eventi franosi e nel consolidamento di porzioni di roccia o terreno instabile che non possono essere ulteriormente asportate o interessate da interventi modificativi: si tratterà cioè di quelle tecniche di consolidamento di elementi rocciosi o di scarpate detritiche mediante ancoraggi e legature, con la posa di pannelli di rete o funi a trefoli.

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

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 - disgiatori).

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.

Quando i fenomeni di instabilità interessano 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;
- disgaggio meccanico mediante escavatore tipo ragno o escavatore cingolato;
- demolizione meccanica di elementi rocciosi mediante martellone;
- perforazione di fori da mina e brillamento di piccole cariche di esplosivo (*patarraggio*);
- profilatura sistematica di pareti rocciose con impiego di esplosivi, utilizzando una tecnica di taglio della roccia denominata *smooth blasting*.

L'obiettivo è quello di ottenere una configurazione stabilizzata delle pareti residue con eliminazione degli aggetti e l'abbattimento (o la riduzione) dei volumi di roccia presenti a valle di giunti di discontinuità di trazione (*tension cracks*).

Quando i fenomeni di instabilità interessano versanti detritici a prevalente frazione terrosa, si possono individuare soluzioni che prevedano un disgaggio minimale del coronamento di frana (anche col solo impiego di tecniche manuali), oppure procedere all'asportazione di materiale per ottenere una nuova configurazione del pendio. L'asportazione di materiale (terra e blocchi rocciosi) da versanti detritici deve, per quanto possibile, avvenire con andamento discendente, dalla sommità verso il basso. Di norma si procede con la realizzazione di rampe, per mezzo di escavatore cingolato, per raggiungere il limite superiore del corpo detritico.

L'escavatore effettua quindi lo sbancamento del materiale facendo scendere il detrito verso valle e diminuendo gradualmente l'altezza e l'inclinazione del cumulo. Unitamente alle operazioni di movimento terra sui versanti, spesso risulta necessario procedere alla messa in sicurezza di blocchi, lastre rocciose e scarpate mediante chiodature, funi e reti metalliche.

Le diverse tecniche impiegabili dipendono sostanzialmente dal tipo di instabilità e di formazione interessata (chiodatura degli elementi instabili al substrato roccioso, messa in opera di pannelli di rete a maglia esagonale, armata con funi a trefoli di acciaio, posa di pannelli di funi a trefoli legate a idonei ancoraggi in roccia, posa di pannelli in fune di acciaio romboidale).

Le tecniche di sistemazione idrogeologica e naturalistica

Rivegetazione

Gestione della vegetazione esistente
Inerbimenti
Messa a dimora di alberi e arbusti
Messa a dimora di talee



Sopra: inerbimenti con idrosemina su grate vive



Sotto: inerbimenti con idrosemina su terre rinforzate



Geosintetici e fibre naturali

Geotessili
Geomembrane
Geogriglie, georeti geostuoie
Reti e stuoie in fibra naturale



**Supporto alla rivegetazione
con utilizzo di geostuoie e reti
in fibra naturale**



Canalizzazioni

Metalliche con rinfianchi rivegetati
In legname e pietrame
In terra inerbite
In terra impermeabilizzate e inerbite
In tavolame di legno



Canalizzazioni in pietrame malta (1), in legname e pietrame (2-3-4), in geocomposito (5: geostuo in polipropilene a struttura tridimensionale su geomembrana)

Sistemi drenanti

*trincee drenanti
cunei filtranti
fascinate drenanti*



***Tecniche per il drenaggio
di versanti***

Opere in legname

palificate semplici
palificate vive di sostegno



Palificate semplici



***Palificate vive di sostegno
a doppia parete***



***Palificate vive di sostegno
ad una parete (a infissione)***





Sopra: palificate vive di sostegno, impiegate per il consolidamento di sponde fluviali

A sinistra e sotto: costruzione di una briglia in legname e pietra





Grata viva: fasi costruttive e sviluppo della vegetazione



Opere in pietrame

*murature in pietrame
scogliere rivegetate
gabbioni*



Scogliere in massi posati a secco o rivegetate





**Fasi realizzative
di una terra
rinforzata**



Rivegetazione

Inerbimenti

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 e dal ruscellamento superficiale;
- ricostruire la vegetazione e le condizioni di fertilità.

La ricostituzione della cotica erbosa può avvenire mediante una **semina manuale (a spaglio)**, preceduta da eventuali operazioni di preparazione del piano di semina.

L'inerbimento delle superfici può essere ottenuto anche con la **semina idraulica (idrosemina)**, tecnica adatta all'inerbimento di superfici ampie e in pendenza, che viene eseguita con attrezzatura a pressione. La tecnica dell'idrosemina prevede l'impiego di una miscela composta da acqua, miscuglio di sementi idonee, concime, collanti, prodotti fitoormonici e sostanze miglioratrici del terreno, il tutto distribuito in un'unica soluzione con speciali macchine irroratrici a forte pressione (idroseminatrici).

Nei casi in cui risulti necessario aumentare la parte organica si potrà quindi provvedere, su terreni a scarsa pendenza, anche alla somministrazione di una **coltre protettiva** del suolo, costituita da fibre naturali (paglia, fieno, ecc.).

La coltre protettiva, costituita percentualmente anche da fibre di legno o da pasta di cellulosa, se distribuita con la semina idraulica, prende il nome di **idrosemina con mulch**. Commercialmente esistono poi varianti del *mulch* che, a seconda della concentrazione e della composizione, caratterizzano l'idrosemina a fibre legate e l'idrosemina a spessore.

Messa a dimora di piantine e di talee

Come già è stato spiegato, le piante arbustive e arboree possono essere ottenute da **seme** (non di frequente utilizzo), da **piantine a radice nuda** o **in contenitore**, oppure da parti di piante, sotto forma di **talee, astoni, ramaglia viva**, ecc. .

Sia le talee sia le piantine da vivaio, soprattutto quelle a radice nuda, devono essere messe a dimora durante il **riposo vegetativo**, che interessa un periodo dell'anno la cui lunghezza è in funzione della quota alla quale si opera; in montagna il periodo di riposo è più lungo rispetto alla pianura. In linea di massima, l'epoca migliore per l'esecuzione dei lavori è l'autunno per la pianura e la primavera per la montagna.

Determinate tecniche di Ingegneria Naturalistica prevedono l'impiego contemporaneo di materiali inerti (terra e pietrame) e vivi, come accade nel montaggio "a strati" delle palificate di sostegno a doppia parete: la stagione di costruzione delle opere è quindi condizionata dal periodo nel quale è possibile mettere a dimora la vegetazione.

Anche il **prelevamento** delle talee vicino al cantiere -"taleaggio in loco" -delle specie legnose viene effettuato durante il periodo di riposo della vegetazione.

I notevoli quantitativi di talee o astoni che in molti lavori devono essere impiegati possono rendere necessario un approvvigionamento anticipato rispetto alla fase di esecuzione dei lavori.

Nasce quindi un'esigenza di **conservazione** di tale materiale che si può ottenere in celle frigorifere oppure in pozze di acqua fredda continuamente ricambiata, al fine di evitare che le talee emettano germogli e radici prima dell'esecuzione dei lavori. Occorre prevedere qualche accorgimento per il **trasporto** del materiale vegetale sul cantiere di lavoro, tanto più grandi saranno le distanze da percorrere.

Soprattutto durante stagioni tardo-invernali o primaverili, con temperature calde impreviste, il pericolo di disidratazioni provocate dal contatto con l'aria è sempre presente: in queste situazioni è consigliabile l'impiego di autocarri furgonati o con cassoni telonati e una preventiva bagnatura del materiale.

Nelle operazioni di **messa a dimora di piantine**, i tutori, se previsti e necessari, vanno conficcati nella buca di piantagione prima della posa delle piante e devono affondare di almeno 30 cm oltre il fondo della buca.

Si procede quindi disponendo uno strato di terra sul fondo delle buche, con la rimozione di ciottoli o materiali estranei: su questo strato di terra verrà sistemata la radice.

La pianta deve essere posata in modo che il colletto radicale si trovi al livello del fondo della conca di irrigazione e la radice non deve essere né compressa, né spostata; la buca di piantagione viene poi colmata con terra di scavo, eventualmente con aggiunta di terra fine. La compattazione della terra va eseguita con cura, in modo da non danneggiare le radici, non squilibrare la pianta, che deve rimanere dritta, e non lasciare sacche d'aria: la completa compattazione sarà ottenuta attraverso una abbondante irrigazione, che favorirà inoltre la ripresa vegetativa.

In merito alla tecnica di **messa a dimora di talee, astoni, ramaglia viva**, questo materiale, una volta preparato (ossia portato alle dimensioni richieste dalle opere in costruzione) deve essere immediatamente impiegato, al fine di ridurre i rischi di eccessiva perdita d'acqua (disidratazione).

La messa a dimora per talea richiede quindi alcuni accorgimenti:

- la corretta scelta delle specie vegetali;
- il rispetto dell'epoca di prelievo e di impiego (riposo vegetativo);
- le opportune cautele nella conservazione e nel trasporto;
- la corretta polarità nella posa;
- la posa quasi orizzontale;
- la necessità che non ci siano mai sacche d'aria a contatto con la parte interrata, da qui l'opportunità di compattare il terreno e di evitare il più possibile l'inserimento a posteriori delle talee nelle opere;
- la buona qualità del terreno di riempimento, che non deve essere eccessivamente pietroso;
- l'inserimento della talea nel terreno per almeno l'80% della sua lunghezza, per far sì che sia il più possibile a contatto con la terra e non vi siano fenomeni di precoce disidratazione;
- la spuntatura o potatura della parte aerea con un taglio netto, inclinato verso il basso (con la faccia tagliata che guardi il terreno).

Fra le tecniche di messa a dimora di piantine e/o di talee si descrivono due particolari tecniche.

La **gradonata viva** è un tipo di intervento per il consolidamento di pendii e scarpate attraverso la messa a dimora di materiale vegetale vivo.

La sequenza di costruzione comprende:

- lo scavo manuale o meccanico di una banchina profonda almeno 50 cm, con una pendenza verso l'interno dello scavo del 10% circa;
- la messa a dimora orizzontale di talee, o talee e piantine radicate, in numero rispettivo di almeno 20 talee (diametro minimo 2 cm) al metro e/o 5 piantine radicate al metro;
- la ricarica della banchina con la terra di scavo, lasciando sporgere le talee solo per pochi centimetri.
- la potatura delle talee, come precedentemente descritto.

Per la sistemazione di un versante vengono realizzati più linee di gradonate vive, eseguite con interassi di 1.5 - 3 m, partendo generalmente dalla base del pendio fino alla parte più alta, utilizzando per il riempimento delle banchine inferiori il materiale di scavo di quelle soprastanti.

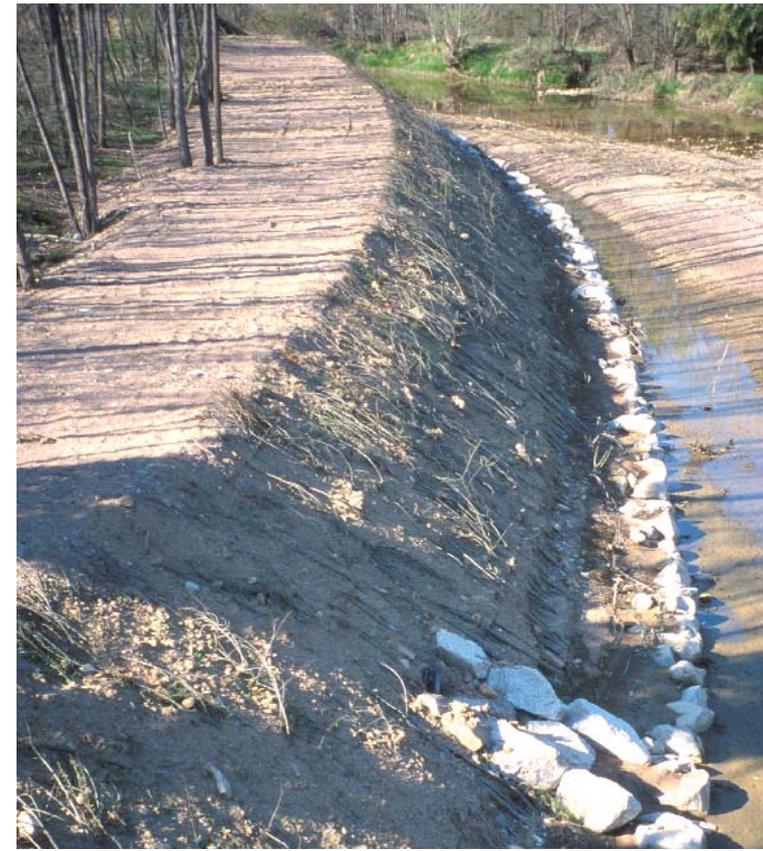
L'**infissione di talee a chiodo** è una tecnica di messa a dimora per la rivegetazione di versanti, scarpate e sponde, che prevede l'impiego di talee di grosse dimensioni, lunghe in genere da 50 cm a 1 m, da posare a seguito dell'eventuale rimodellamento del terreno come da progetto, con la seguente successione operativa:

- realizzazione di preforni di posa con barre metalliche di grosso diametro;
- inserimento delle talee nei fori;
- infissione in profondità con utilizzo di una mazza;
- rifilatura a margini netti della testa delle talee, attraverso l'uso di grosse tronchesi o con sega manuale.

Le talee a chiodo possono essere anche impiegate come ancoraggio delle reti in fibra naturale, naturalmente insieme agli ancoraggi metallici, ottenendo così una maggiore rivegetazione del versante.

In ambito idraulico si prevedono sistemazioni spondali con la messa a dimora di lunghi astoni di salice su scarpate riprofilate. Gli astoni possono poggiare su un cordolo di massi, posti al piede della sponda. Tale tecnica di sistemazione è detta **copertura diffusa con astoni**.

Consolidamento spondale realizzato con copertura diffusa



Geosintetici e fibre naturali

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

Negli interventi di Ingegneria Naturalistica l'uso di geosintetici assume diverse funzioni: rinforzo dei terreni, filtro, drenaggio, protezione dall'erosione, ma anche supporto allo sviluppo della vegetazione nella fase iniziale di crescita. Come geosintetico si intende quindi un prodotto fabbricato fuori dal cantiere e costituito da uno o più materiali abbinati, a seconda delle caratteristiche tecniche che si vogliono ottenere. Sono definibili perciò prodotti di sintesi anche quelli composti da fibre vegetali.

I geosintetici si dividono in:

- geotessili;
- geomembrane;
- prodotti correlati: georeti, geogriglie, geostuoie, reti in fibra naturale ecc.

I **geotessili** sono costituiti da fibre sintetiche, prodotte con polimeri quali poliammide, poliestere, polipropilene, polietilene.

La disposizione delle fibre determina l'ulteriore distinzione in geotessili tessuti impiegati nel rinforzo dei terreni, e non tessuti, con proprietà filtranti.

Le **geomembrane** sono strutture caratterizzate da bassissimo coefficiente di permeabilità, pertanto vengono impiegate come impermeabilizzanti. Sono costituite da polimeri quali polietilene (PE) o cloruro di polivinile (PVC). In genere è utilizzato il polietilene ad alta densità

(HDPE). Oltre alle geomembrane polimeriche esistono delle geomembrane bituminose, ricavate per impregnazione di non tessuti con bitume opportunamente additivato.

I **prodotti correlati** possono essere costituiti da uno o più materiali, sia di composizione sintetica che naturale, e coprono una vastissima gamma di impieghi, quali la stabilizzazione superficiale o strutturale, il drenaggio, l'impermeabilizzazione, la rivegetazione.



Tipologie di geosintetici



Si elencano le seguenti tipologie:

- geogriglie: strutture in HDPE o poliestere a maglie poligonali molto aperte, hanno funzione di rinforzo nei rilevati o nei sottofondi stradali;
- georeti: costituite da robusti fili incrociati di polietilene ad alta densità, vengono utilizzate come elemento di supporto ad altri geosintetici al fine di migliorarne le proprietà meccaniche; sono inoltre ottimi ripartitori di carico;
- geostuoie: sono formate da filamenti di materiale sintetico aggrovigliato, e costituiscono un sistema di trattenuta del terreno agrario e delle sementi, soprattutto sulle superfici da rivegetare dopo aver effettuato interventi di impermeabilizzazione (*capping* di discariche, canalizzazioni artificiali);
- geocompositi: sono combinazioni fra geogriglie, geotessili e geomembrane; per questo possono assolvere a più funzioni quali drenaggio + rinforzo meccanico, impermeabilizzazione + rinforzo meccanico, ecc.;
- geocelle: sono strutture alveolari in materiale sintetico, atte al contenimento del terreno agrario su superfici pianeggianti o inclinate, tipicamente utilizzate nella rivegetazione di superfici che - una volta impermeabilizzate - vengono ricaricate di terra;
- biotessuti, biostuoie, biofeltri: sono una estesa famiglia di prodotti accomunati dall'utilizzo con finalità di contrasto dell'erosione superficiale e di rinaturalizzazione del suolo. Possono essere interamente costituiti da reti in fibre naturali di juta, agave o cocco, oppure assemblati con strutture di supporto in fibra sintetica biodegradabile.



Reti in fibra naturale

Canalizzazioni

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. La canaletta deve essere collocata in uno scavo che consenta l'afflusso dell'acqua dalle zone laterali senza provocarne il sifonamento; i tirafondi di ancoraggio rendono la canaletta solidale al terreno e possono essere costituiti da picchetti in acciaio o da barre filettate, cementate a fondo foro e imbullonate; 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) favoriscono la stabilizzazione dell'opera e costituiscono nel tempo un efficace mascheramento della struttura.

Nei casi dove la capacità di trasporto solido non è elevata, si può prevedere la costruzione di **canalizzazioni in legname e pietrame**, di sezione trapezia. Si procede con lo scavo della sezione prescritta, con mezzo meccanico o a mano; vengono infissi nel terreno pali scortecciati di legno durabile di latifoglie o conifere autoctone (diametro min 15 - 20 cm), con angolazione corrispondente alla parete dello scavo; ai pali di ancoraggio vengono fissati longitudinalmente, mediante chiodi o cambre, elementi di lunghezza variabile da 2 a 4 m, alla quota di fondo alveo e alla quota di sponda; nei quadri in legname così costituiti sui lati e sul fondo vengono disposti lastroni o blocchi di pietrame, intasandoli con materiale terroso; è consigliabile inerbire il terreno di riempimento dei giunti fra le pietre.

In altri casi, caratterizzati da pendenze e velocità di deflusso non elevate, possono essere realizzate **canalizzazioni in terra** effettuando uno scavo avente sagoma trapezoidale e disponendo opportunamente geosintetici antierosivi a protezione dello stesso.

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. Le canalette in tavole di legname devono essere realizzate con elementi di legname stagionato e durabile, (ad esempio larice o castagno) avente spessore minimo di 5 cm.

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). 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, contribuendo quindi alla riduzione di importanti fattori destabilizzanti e innescanti dei fenomeni franosi.

Trincea drenante: è costituita da uno scavo, di dimensioni assai variabili (da 1 ad alcuni metri), che viene eseguito con ragno meccanico o con escavatori cingolati. Il fondo e le pareti dello scavo vengono quindi rivestiti con la posa di geotessile nontessuto ad azione filtrante. Alla base dello scavo vengono posati tubi in polietilene microfessurati, di adeguato diametro. Lo scavo viene quindi riempito con materiale lapideo calibrato, di varia granulometria, che costituisce il corpo drenante della formazione.

Cuneo filtrante: consiste in un'opera in legname (palificata a doppia parete riempita con materiale ghiaioso) destinata a intercettare la superficie di affioramento delle acque e a convogliare la portata effluente mediante un collettore (canaletta metallica o scavo impermeabilizzato) posto alla base dell'opera stessa. Il cuneo filtrante così descritto si definisce "passivo". In un cuneo filtrante "attivo" si effettua l'impianto di talee di specie arbustive igrofile, la cui forte capacità di assorbimento di acqua e di evapotraspirazione contribuisce validamente al drenaggio della struttura.

Nel caso del **drenaggio con fascinate** lo scavo, di profondità variabile, può essere eseguito a mano o con mezzi meccanici; sul fondo dello scavo viene posto un tubo in polietilene microfessurato di adeguato diametro, eventualmente rivestito da geotessile nontessuto. Lo scavo viene poi riempito con ramaglie e fascine morte, ed eventuale materiale lapideo reperito in loco. La parte sommitale della trincea viene saturata con terra e possibilmente con fascine di materiale vegetale vivo, dotate di capacità di propagazione vegetativa.

Opere in legname

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 toname scortecciato idoneo e durabile di latifolia o conifera di diametro minimo 20 cm, disposto perpendicolarmente alla linea di massima pendenza, legato e fissato a valle da picchetti (pilotti) 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 pilotti al metro lineare. 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 (juta, agave, cocco) con funzione antierosiva. Il terreno viene inerbito mediante idrosemina o semina manuale a spaglio.



Palificate vive di sostegno

Le **palificate vive 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 o tondini in acciaio ad aderenza migliorata (diametro minimo 32 mm). Il tondame utilizzato, di legno idoneo e durabile di latifolia o conifera, 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, di seguito descritte, richiede un minore volume di sbancamento. 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, da cui deriva anche la eventuale denominazione della struttura come "palificata ad infissione". 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 (minimo 100 talee e/o 5 piantine radicate per metro quadrato di paramento esterno).

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. La palificata di sostegno a doppia parete è un manufatto a gravità, costituito da una sorta di cassone 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 durabile di latifolia o conifera, scortecciati e 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 (tondini Ø 32 mm o profilati) posti anteriormente al paramento di monte e/o al paramento di valle: in casi particolari possono prevedersi **ancoraggi profondi** con impiego di micropali trivellati o a rapida infissione. Per l'applicazione in campo idraulico (**briglie in legname e pietrame**) le modalità costruttive risultano analoghe a quelle delle palificate di sostegno a doppia parete. Tuttavia occorre prevedere diametri della paleria non inferiori a 25-30 cm, riempimento con pietrame di idonea pezzatura, limitazione della rivegetazione alle sole ali laterali, sagomatura del manufatto per indirizzare la corrente d'acqua (forma della gaveta) e molti accorgimenti atti ad evitare l'erosione, lo scalzamento e lo svuotamento dell'opera

Palificate vive di sostegno



Opere di stabilizzazione superficiale

Le **stecconate** sono strutture che hanno le stesse modalità di messa in opera delle palificate semplici, di cui possono essere considerate una variante costruttiva. In questo caso la struttura portante a sostegno del terreno di ricarica sul versante è formata da tavoloni di larice di spessore 50 - 80 mm, fissati al suolo da tondini o profilati in acciaio di adeguata lunghezza (non inferiore al metro). Rispetto alle palificate semplici consentono una maggiore entità di ricarica a monte in spazi anche limitati, tuttavia rispetto all'impiego della paleria, possono verificarsi maggiori problemi in ordine alla durabilità del tavolame messo in opera.

Le **viminate, graticciate e fascinate** possono considerarsi strutture complementari alle precedenti, adottate con maggiore difficoltà a causa della laboriosità della loro messa in opera e della minor capacità portante. In compenso queste strutture sono molto elastiche e in grado di adattarsi alle irregolarità del terreno, alla presenza di affioramenti rocciosi, e addirittura a ulteriori movimenti di assestamento del terreno dopo la messa in opera.

Grate vive

Le grate vive (o grate a camera) in legname rappresentano una valida tecnica di sistemazione di scarpate anche nel caso in cui abbiano elevati valori di acclività (da 40° a oltre 60°), e non siano possibili interventi di rimodellamento del pendio per ridurre l'inclinazione, onde permettere l'impiego di altre tipologie. Il caso tipico di applicazione è nella sistemazione delle scarpate a monte dello scavo di tracciati stradali. 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 viti, bullonature, legature o incastro, dei tronchi orizzontali, a costituire maglie quadrate o rettangolari.

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, per una lunghezza non inferiore a 1.5 m. 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 georeti antierosive ed eventualmente con una rete elettrosaldata. 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.

Grate vive



Opere 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. Il muro in pietrame a secco è una struttura di sostegno perfettamente drenante; l'efficienza del drenaggio può essere opportunamente garantita dalla posa di un geotessile nontessuto a tergo dell'opera.

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 m³ a oltre 1 m³) e di forma irregolare. Anche in questo caso l'elevazione avviene per corsi regolari e 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 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).

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.



***Opere in pietrame: muri a secco (sopra), gabbioni (in alto a destra),
scogliere rivegetate (in basso a destra)***

Opere in terra rinforzata

Le strutture denominate "terre rinforzate" vengono normalmente impiegate nel consolidamento strutturale della base di pendii franati, nella realizzazione di valli paramassi e paravalanghe, di barriere antirumore o come rilevati di sostegno a infrastrutture stradali. Una terra rinforzata viene realizzata con la stesura di geosintetici (di norma geotessuti 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 con rullo vibrante o con benna dell'escavatore. 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. Ai fini della rivegetazione, nel caso di terre rinforzate realizzate con risvolti di geotessile tessuto, il paramento esterno viene ricaricato con terra, rivestito con una rete in fibra naturale (juta) e inerbito con una idrosemina, la cui miscela sia particolarmente ricca di sostanza organica; la pendenza delle superfici in scarpata non deve superare di norma i 45° rispetto all'orizzontale, onde permettere la stabilità della terra riportata e la conseguente crescita della vegetazione. 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, e consiste semplicemente in un inerbimento con la tecnica dell'idrosemina.



REGIONE
PIEMONTE

Direzione Ambiente – Settore Sostenibilità, salvaguardia
ed Educazione Ambientale