

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI MILANO**

**Facoltà di Agraria**

**Corso di Laurea in Valorizzazione e Tutela dell'Ambiente e del  
Territorio Montano**



**INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICO-FORESTALE IN  
LOCALITA' MOLA (EDOLO, BRESCIA)**

Relatore: Prof. Gian Battista Bischetti

Correlatore: Dott. For. Mario Tevini

Tesi di Laurea di:  
Davide Piroli  
Matr. n°798813

ANNO ACCADEMICO 2013 - 2014



## INDICE

1.INTRODUZIONE.....	1
2. DISSESTI.....	3
2.1 Erosione Superficiale.....	3
2.2 Movimenti di massa.....	4
2.2.1 Frane di crollo.....	5
2.2.2 Frane da scivolamento planare.....	6
2.2.3 Frane da scivolamento rotazionale.....	8
2.2.4 Frane con movimento per colata.....	8
2.3 Fenomeni d'alveo.....	9
3 SISTEMAZIONI IDRAULICO FORESTALI.....	12
3.1 Opere di ingegneria naturalistica.....	14
3.1.1 Prima tipologia di interventi.....	15
3.1.2 Seconda tipologia.....	17
3.1.3 Terza tipologia.....	19
3.1.4 Quarta tipologia.....	19
4 OPERE IN LEGNAME.....	21
4.1 Tipologia di opere in legno.....	21
4.1.1 Palizzate.....	21
4.1.2 Palificate vive di sostegno.....	21
4.1.3 Briglie in legname e pietrame.....	23
4.2 Durabilità e cause di degradazione del legno.....	24
4.2.1 Alterazioni di origine abiotica.....	24
4.2.2 Alterazione di origine abiotica.....	25
4.3 OPERE IN MASSI.....	26
4.3.1 Scogliera.....	26
5 INTERVENTI CONSIDERATI.....	28
5.1 Inquadramento territoriale.....	28

5.2 Inquadramento geologico .....	29
5.3 DESCRIZIONE dell'INTERVENTO in località VALLE DELLE BERARDE .....	31
5.4 OPERE REALIZZATE.....	34
6 UBICAZIONE INTERVENTO in località MOLA.....	39
6.1 Inquadramento delle aree in dissesto.....	39
6.2 Opere previste in fase progettuale .....	42
6.3 OPERE REALIZZATE.....	49
7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE .....	59
Bibliografia .....	62
Ringraziamenti .....	63

## **1.INTRODUZIONE**

I fenomeni di dissesto idrogeologico come frane, alluvioni, smottamenti, colate detritiche, sono fenomeni naturali che caratterizzano buona parte del territorio montano Italiano, a cui non fa eccezione la Valle Camonica.

Purtroppo un evento eccezionale, pur raro che sia, non è unico ed irripetibile, sebbene nella bella stagione sia difficile vedere il pericolo in un versante all'apparenza stabile o in un torrente che scorre placido nel suo alveo, con il sopraggiungere del maltempo, ed in certi casi per errori riconducibili ad attività umane, si possono avere frane o alluvioni di intensità tale da provocare danni a edifici, o, addirittura, la perdita di vite umane.

Per questi motivi è importante mantenere attiva l'opera di prevenzione, in modo tale da garantire la sistemazione dei bacini più dissestati, ed è soprattutto doveroso favorire la permanenza dell'uomo in montagna, poiché svolge una funzione di presidio fondamentale nel mantenimento del territorio.

E' necessario intervenire tempestivamente nelle situazioni in cui il dissesto sia già in atto al fine di impedirne l'estensione e le ripercussioni nei territori più a valle, generalmente caratterizzati da insediamenti abitativi e produttivi, e quindi di maggiore interesse.

Le situazioni di dissesto che si verificano in un bacino possono essere sanate attraverso opere a carattere idraulico e forestale, che hanno come obiettivo quello di riportare il bacino stesso in una situazione di equilibrio. Esso può essere raggiunto solamente attraverso interventi mirati e combinati tra alveo e versante, in grado di agire alla base del problema.

Come è ormai noto la vegetazione svolge un ruolo determinante di trattenuta del materiale, riducendo i processi di formazione del deflusso e

del sedimento. Questi principi sono alla base dell'ingegneria Naturalistica. Una disciplina che è stata approfondita negli ultimi anni, per cercare alternative a sistemazioni realizzate in modo tradizionale, ovviamente dove possibile, con opere a minor impatto, sostituendo antiestetici e costosi manufatti in muratura o cemento armato, e ricercando le stesse proprietà tecniche e strutturali nell' utilizzo di materiali propri della montagna.

Vengono utilizzati infatti tronchi, pietrame, talee o piantine a radice nuda, reti di fibra naturale, il tutto volto a minimizzare l'impatto ambientale delle sistemazioni.

Queste tecniche inoltre, al contrario delle opere in calcestruzzo, hanno la proprietà di essere elastiche e non rigide, ovvero sono in grado di sopportare assestamenti e piccoli cedimenti del terreno su cui sono realizzate; inoltre se le piante assumessero un ruolo strutturale la loro efficacia aumenterebbe nel tempo.

In questo elaborato verranno illustrati due interventi di Sistemazione Idraulico-Forestale realizzati con tecniche di Ingegneria Naturalistica: il primo inerente la sistemazione di un'asta torrentizia realizzato nel 2006 in Valle Camonica, più precisamente nel comune di Edolo in località Valle delle Berarde, il secondo intervento invece è in fase di ultimazione e riguarda la sistemazione di un versante in frana in località Mola, sempre nel comune di Edolo.

In particolare dei due interventi verranno descritti i fenomeni che hanno scaturito l'evento calamitoso, e verranno illustrate le scelte progettuali e le modalità con cui sono stati realizzati gli interventi.

## **2 DISSESTI**

In generale il dissesto idrogeologico può essere definito come un insieme di processi che vanno dalle erosioni contenute e lente alle forme più consistenti della degradazione superficiale e sottosuperficiale dei versanti, fino alle forme più gravi come le frane.

Le forme di dissesto idrogeologico sono molteplici e, in tutte, l'acqua ricopre un ruolo fondamentale, essendo l'agente predisponente o scatenante il fenomeno. Anche se frequentemente le forme di dissesto sono il risultato di diversi processi che interagiscono tra di loro, in ambito alpino e prealpino possiamo distinguere tre tipologie: erosione superficiale, movimenti di massa, fenomeni d'alveo.

### **2.1 Erosione Superficiale**

L'erosione idrica superficiale è provocata dall'azione dell'acqua battente o dallo scorrimento delle acque sulla superficie del suolo. L'acqua causa il distacco e il trasporto delle particelle di substrato in maniera isolata. Nei bacini alpini e prealpini si tratta di un fenomeno di interesse piuttosto limitato, in quanto solo raramente ed in precise situazioni si osserva deflusso superficiale; il processo infatti è osservabile solamente in ambienti già degradati, privi di copertura vegetale, oppure lungo le strade forestali ed i sentieri, dove la capacità d'infiltrazione è ridotta dal compattamento della superficie. Il potere erosivo della precipitazione e le caratteristiche che governano l'infiltrazione e la resistenza al distacco, come la tessitura, il contenuto in sostanza organica, la struttura e la permeabilità del substrato, la pendenza e la scabrezza della superficie, sono i fattori critici di tale processo. L'erosione superficiale può essere controllata in modo efficace tramite l'inerbimento; la vegetazione erbacea e non, infatti, è in grado di ridurre l'energia cinetica della precipitazione,

la velocità e l'entità dello scorrimento superficiale, attraverso l'incremento di scabrezza e dell'infiltrazione, la resistenza al distacco attraverso l'imbrigliamento delle particelle di terreno (Figura 1).

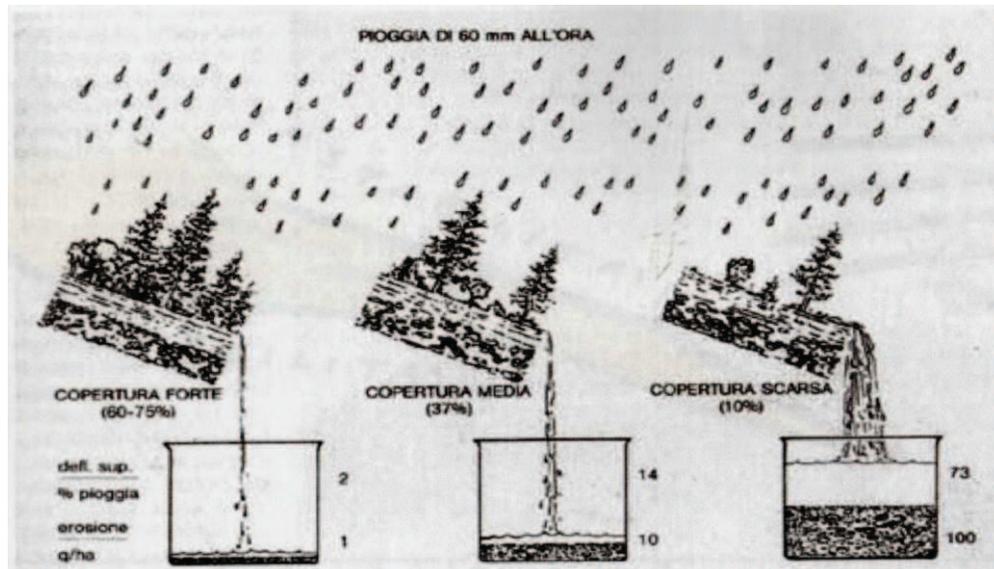


Figura 1 Variazioni dell'erosione e del deflusso al variare del grado di copertura (Salsotto e Dana 1980)

## 2.2 Movimenti di massa

Si tratta di movimenti di materiale che viene distaccato e trasportato in seguito a fenomeni gravitativi dove l'acqua esercita un ruolo fondamentale ma non primario. La forza che governa questi fenomeni è infatti la gravità, mentre l'acqua funge da fattore predisponente o scatenante va aumentando le forze destabilizzanti o riducendo quelle stabilizzanti. Tra gli eventi meteorici e i movimenti di massa sui versanti vi è comunque un evidente rapporto di causa ed effetto. Per certi tipi di eventi franosi, come ad esempio le colate rapide per saturazione e fluidificazione dei terreni superficiali, l'altezza di precipitazione cumulata è in correlazione con l'innesco delle instabilità. Non è così sistematico per crolli o per i movimenti franosi di grandi dimensioni, in quanto le instabilità possono verificarsi in tempi anche molto distanti dall'evento

climatico. Per quanto riguarda i “soil slips”, ovvero i movimenti franosi che avvengono per scivolamento e fluidificazione di materiali sciolti dei terreni superficiali, si può notare una certa relazione tra i parametri di intensità oraria di precipitazione (solitamente in mm/h), e i movimenti franosi.

Per descrivere i fenomeni di dissesto che si verificano sui versanti sono state sviluppate diverse classificazioni, basate sull’analisi di alcune caratteristiche specifiche: morfologia del dissesto (area di distacco, trasporto, accumulo), meccanismo del processo, materiale interessato, rapporto tra frazione solida e frazione liquida, velocità, cause, grado di scomposizione della massa franata, grado di attività, zona geografica, ecc.(Figura 2).

Tipo di movimento		Tipo di materiale		
		<i>terra</i>	<i>detrito</i>	<i>roccia</i>
<i>Crolli</i>		Crollo di terra	Crollo di detrito	Crollo di roccia
<i>Ribaltamenti</i>		Ribaltamenti di terra	Ribaltamenti di detrito	Ribaltamenti di roccia
<i>Scivolamenti</i>	<i>rotazionali</i>	Scivolamenti rotazionali di terra	Scivolamenti rotazionali di detrito	Scivolamenti rotazionali di roccia
	<i>traslativi</i>	Scivolamenti traslazionali di terra	Scivolamenti traslazionali di detrito	Scivolamenti traslazionali di roccia
<i>Espandimenti laterali</i>		Espandimenti laterali di terra	Espandimenti laterali di detrito	Espandimenti laterali di roccia
<i>Colamenti o flussi</i>		Colata di terra	Colata di detrito	Flusso di roccia
<i>Frane complesse</i>		Combinazione di due o più tipi di movimento		

**Figura 2** Tipologie di movimenti franosi.

Di seguito vengono descritti i principali dissesti per movimento di massa.

### 2.2.1 Frane di crollo

Questi dissesti sono rapidissimi e si verificano all’improvviso. Essi sono generati da distacchi da pareti rocciose o da pendii con inclinazioni

elevate. Questi eventi sono dipendenti dallo stato di fatturazione della roccia, dalla disposizione e dai rapporti di intersezione tra fratture (Figura 3). Queste condizioni possono dar luogo a volumi potenzialmente instabili come ad esempio prismi, cunei o lastre. Quando i volumi coinvolti sono elevati si generano le valanghe di roccia, caratterizzate da elevatissima mobilità. Diversi fattori possono innescare il distacco degli elementi o porzioni di roccia instabile, come ad esempio l'aumento della pressione idrostatica nelle discontinuità generata dal ghiaccio all'interno delle fessure; la presenza di sollecitazioni statiche; la presenza di sollecitazioni dinamiche, come ad esempio sismi, esplosioni; o sollecitazioni derivanti da attività umane come scavi, esplosioni per scavo di gallerie. Le caratteristiche morfologiche del terreno implicato nel dissesto influenzano direttamente le fasi del distacco, rotolamento della frana.

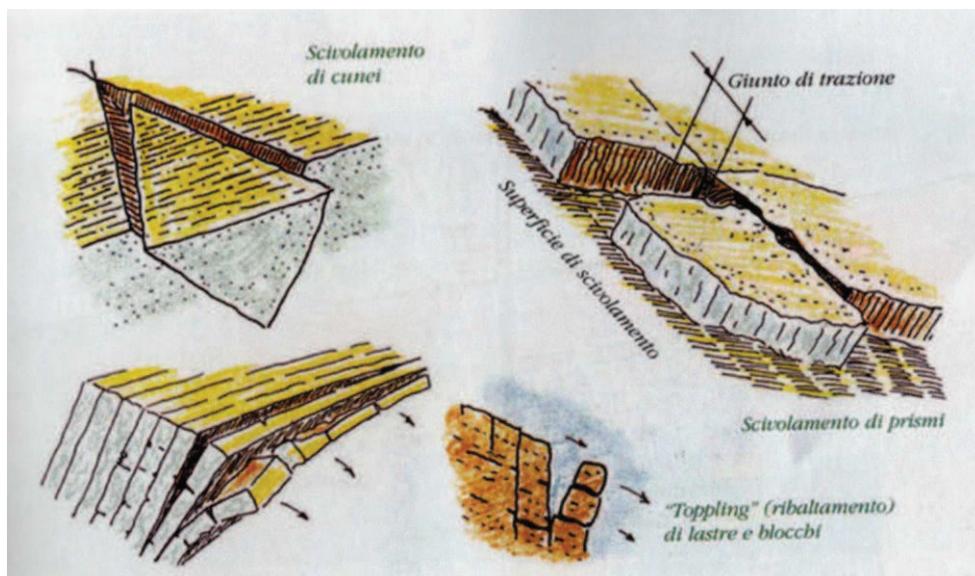
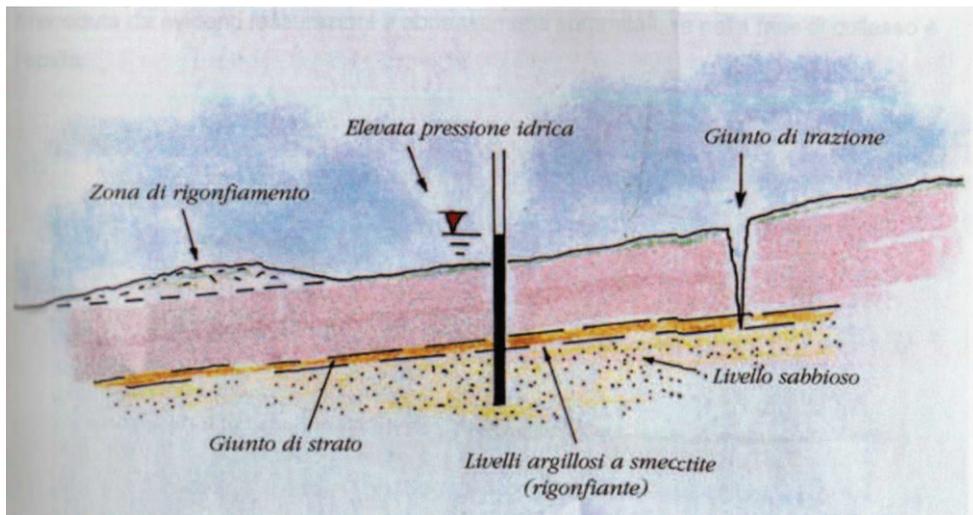


Figura 3 Rappresentazione schematica di instabilità di porzioni rocciose interessate da possibili fenomeni di crollo (Regione Piemonte 2003).

### 2.2.2 Frane da scivolamento planare

Gli scivolamenti planari possono essere definiti come movimenti gravitativi che si determinano per traslazione di rocce e terreni lungo

superfici piane (Figura 4). Questi dissesti avvengono su superfici anche poco inclinate ma ben definite. La durata del fenomeno è variabile tra la decina di minuti e qualche ora. Modesti ma diffusi fenomeni di instabilità precedono lo spostamento, si verificano infatti aperture e fessurazioni, rigonfiamenti del terreno, e inclinazione degli alberi.



**Figura 4** Rappresentazione schematica dell'instabilità dei versanti connessa a movimenti di scivolamento planare (Regione Piemonte 2003).

Il movimento coinvolge una porzione di substrato che va da 0,5 a 2 metri di profondità, provocando una dislocazione planimetrica compresa tra le decine e le poche centinaia di metri. La superficie di scivolamento avviene lungo i giunti di stratificazione nella zona di contatto tra i diversi livelli che compongono il terreno. Per la formazione del fenomeno è di fondamentale importanza il rapporto esistente tra i brevi eventi meteorici di forte intensità e la piovosità cumulata nei due mesi precedenti l'evento, in questo modo infatti vengono saturati i livelli sabbiosi provocando una sovrappressione idrica. Nel periodo primaverile bisognerebbe considerare anche l'apporto idrico derivato dallo scioglimento del manto nevoso.

### 2.2.3 Frane da scivolamento rotazionale

Le frane da scivolamento rotazionale interessano solitamente formazioni a prevalente componente limosa argillosa, ed evidenziano un rapporto diretto con gli eventi di pioggia prolungati. Le sollecitazioni che gravano su queste formazioni generano uno scivolamento di massa lungo una superficie curva assimilabile ad un arco di circonferenza. Le frane con meccanismi combinati di tipo rotazionale evolventi a colata, si verificano solitamente in pendii molto lunghi con pendenze uniformi. L'instabilità è normalmente preceduta da evidenti fessurazioni e abbassamenti sommitali, e nella fase di collasso è molto rapida (Figura 5).

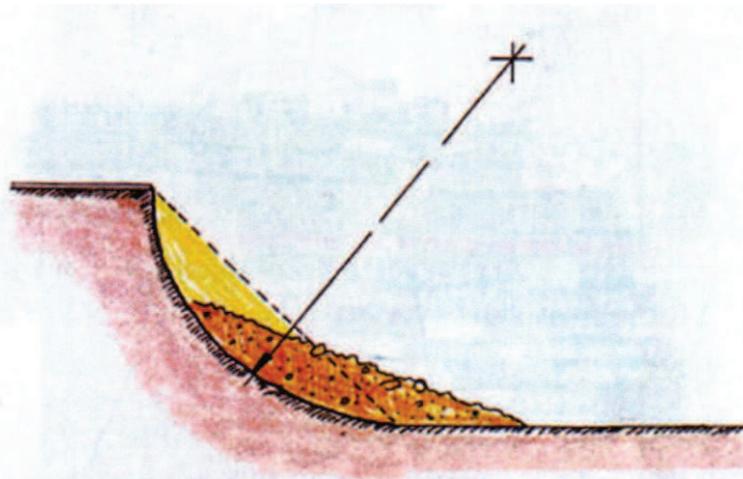


Figura 5 Rappresentazione schematica di frana con scivolamento rotazionale (Regione Piemonte 2003).

### 2.2.4 Frane con movimento per colata

Le frane di questo tipo sono caratterizzate da una diversa velocità di movimento (in alcuni casi avanzano lentamente, in altri molto velocemente), che interessano formazioni di natura argillosa o corpi rocciosi molto fratturati. Importante per l'attivazione del fenomeno è la presenza di minerali argillosi. I movimenti non avvengono lungo superfici ben definite e continue, ma attraverso processi concatenati e progressivi di

deformazione e rottura a profondità differenti. La velocità di spostamento della massa è maggiore al centro e in superficie.(Figura 6).

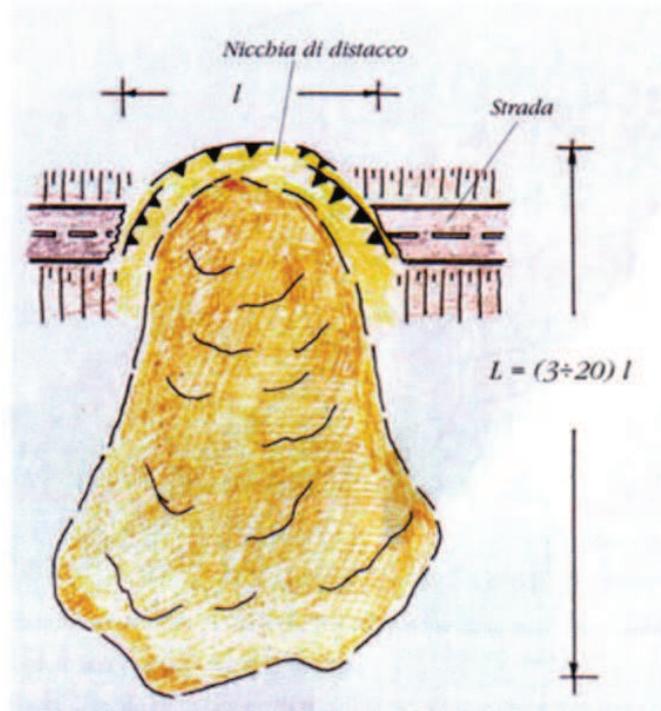


Figura 6 Rappresentazione di frana con movimento prevalente per colata(Regione Piemonte 2003)

## 2.3 Fenomeni d'alveo

La capacità di trasporto della corrente e la disponibilità di materiale da trasportare sono i fattori che regolano i processi di dissesto in alveo. A seconda del trasporto dei suddetti fattori le diverse tipologie di dissesto in alveo possono essere distinte in: erosione al fondo, erosione al piede dei versanti, erosione di sponda e deposito.

Nel caso dell' *erosione di fondo* si ha un progressivo approfondimento del letto con conseguente aumento della pendenza longitudinale. Questo tipo di fenomeno può arrivare ad interessare il piano di fondazione delle opere presenti in alveo pregiudicandone la stabilità, inoltre è una causa che

determina l'erosione al piede del versante. *L'erosione al piede dei versanti* provoca la rimozione del piede, che è il supporto del versante, il dissesto è causato dall'approfondimento del fondo di un corso d'acqua o da erosione laterale, con conseguente aumento delle tensioni di taglio sul versante stesso probabile franamento; tale fenomeno comporta l'arrivo in alveo di una consistente quantità di materiale solido che può ostruire la sezione, generando ulteriori dissesti.

*L'erosione di sponda* è invece caratterizzata da una progressiva asportazione di materiale dalle sponde con il conseguente cedimento delle stesse. Se questo dissesto arrivasse ad interessare il piano di fondazione delle opere, potrebbe comprometterne la stabilità e la funzionalità.

Come per i processi di erosione, in alveo possiamo osservare processi di deposito. Il materiale depositato è lo stesso che precedentemente è stato eroso nei tratti a monte o dai versanti dell'alveo. Anche in questo caso si possono avere conseguenze di rilievo in termini di variazione della pendenza e pregiudizio della funzionalità delle opere.

L'erosione e il deposito in alveo sono due aspetti del *trasporto solido*, ovvero il processo di presa in carico e di trasporto sottoforma di singoli elementi, del materiale solido presente in alveo. Nei bacini alpini l'interesse è prevalentemente concentrato sul trasporto di fondo per la natura e l'entità del materiale dislocato, non è un fenomeno raro anche il trasporto di grandi massi durante le fasi più violente di una piena. Nei torrenti che costituiscono il reticolo idrografico minore possono verificarsi improvvise e violente piene, capaci di provocare importanti modifiche degli alvei e gravissimi effetti sui conoidi allo sbocco delle vallate. Questi fenomeni sono pericolosi perché nella sua breve durata l'ondata di piena trasporta ingenti quantità di materiale solido, anche di notevole

dimensione, l'erosione determina la regressione e l'abbassamento dell'alveo. Il processo è autoalimentante, in quanto la massa coinvolta muovendosi verso valle continua ad asportare nuovo materiale, generando notevoli variazioni delle portate del torrente. Spesso vi sono delle variazioni improvvise causate dal cedimento di materiale precedentemente accumulato nell'alveo come legname o sbarramenti ad opera di frane precedenti. Il fenomeno ha gravi ripercussioni anche a fondovalle, provocando notevoli e improvvisi incrementi di portata dei corsi d'acqua principali determinando lo scalzamento di difese spondali e infrastrutture esistenti.

Le *colate detritiche* sono l'interfaccia tra i processi gravitativi e d'alveo, questi dissesti sono fortemente legati agli eventi piovosi di forte intensità; la conseguenza è la saturazione e successiva fluidificazione dei terreni incoerenti di superficie. Il dissesto consiste in uno scivolamento che evolve rapidamente in colata, spesso incanalata in linee di drenaggio. Questa tipologia di evento è molto pericolosa perché di breve durata, in pochi minuti i fenomeni si innescano e finiscono. L'instabilità del fronte è provocata dall'incremento di pressione idrica; la frana è caratterizzata da velocità elevate che permettono al materiale fluidificato di compiere grandi distanze provocando ingenti danni al territorio.

### **3 SISTEMAZIONI IDRAULICO FORESTALI**

Le sistemazioni idraulico forestali (SIF) sono l'insieme delle opere costruite per eliminare le cause o contrastare gli effetti dei fenomeni alluvionali, dei processi erosivi e franosi, delle colate detritiche e fangose, che avvengono nei bacini torrentizi collinari e montani, creando le condizioni per il ritorno della vegetazione favorendo il ciclo ricostruttivo degli equilibri naturali distrutti o alterati.

Il Decreto Ministeriale del 20 agosto 1912 (ancora vigente) distingue le tipologie di intervento tra gli interventi di sistemazione idraulico-forestale e le opere di sistemazione dei bacini montani, che vengono suddivise in due ordini. Un primo ordine riguarda le opere realizzate per ottenere la stabile correzione dei torrenti; un secondo ordine riguarda le opere di tipo forestale, ovvero i rimboschimenti veri e propri, con tutti i mezzi preparatori per ottenerli, e che hanno lo scopo di consolidare il terreno, prevenendo le erosioni e gli smottamenti.

Solitamente le opere di sistemazione idraulico-forestale vengono realizzate con le tecniche tradizionali, con tale termine si indica l'insieme di tutte le opere attive o passive di consolidamento, contenimento e difesa dai fenomeni di instabilità, realizzate mediante la posa in opera di manufatti in muratura o cemento armato, oltre a sistemi di consolidamento che prevedono la posa di pali trivellati (Figura 7).

Per quanto riguarda le tecniche di ingegneria naturalistica, esse prevedono l'utilizzo di materiali vegetali quali piante vive o parti di piante, in unione con materiali non viventi come pietrame, terra, legname ed acciaio, in genere per la realizzazione di sistemazioni a difesa del territorio.

E' bene precisare però che per quanto concerne i dissesti profondi e le frane da scivolamento planare, che interessano vaste superfici, non sono

ipotizzabili opere attive di contenimento in grado di far fronte all'insorgere di tali eventi, né con tecniche tradizionali né con tecniche di ingegneria naturalistica. L'efficacia della sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica, nelle situazioni meno impegnative, può essere garantita immediatamente dagli elementi viventi, mentre negli altri casi è indispensabile l'azione integrata tra componenti vive e inerti. La funzione degli elementi inerti è quella di garantire la funzionalità dell'opera per un periodo sufficiente al completo attecchimento della vegetazione messa a dimora, dopodiché l'importanza degli elementi strutturali si riduce. In particolare i materiali inerti assicurano la stabilità della sponda o del pendio nella fase critica iniziale, ovvero nella fase di germinazione e sviluppo radicale. Nell'ingegneria naturalistica è l'elemento vegetale che deve stabilizzare e consolidare il suolo e non fungere solamente da elemento estetico.

Meccanismi di Dissesto	Interventi di sistemazione con tecniche tradizionali	Sistemazione con tecniche di ingegneria naturalistica	Altri interventi
<b>Crolli</b>	Chiodature, tiranti, posa di barriere paramassi, gallerie artificiali paramassi	Reti metalliche con geosintetici antierosivi e rivegetazione, rilevati paramassi in terra rinforzata	Disaggi, riprofilatura pendii
<b>Toppling (Ribaltamenti)</b>	Chiodature, tiranti, muri di sostegno	Sistemazione e rivegetazione del solo accumulo di frana	Riprofilature in roccia
<b>Scivolamenti planari</b>		Sistemi drenanti con tecniche naturalistiche	Trincee drenanti profonde, monitoraggio inclinometrico e piezometrico
<b>Scivolamenti rotazionali</b>	Muri di contenimento, anche intirantati consolidamenti mediante micropali	Palificate vive di sostegno in legname, scogliere di contenimento rivegetate, posa antierosivi, ricostruzione pendii in terra rinforzata, rivegetazione della superficie risistemata	Rimodellamento versanti con riduzione della pendenza
<b>Colate</b>	Muri di contenimento	Palificate semplici, viminate, graticciate, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
<b>Soil slips</b>		Geosintetici e fibre naturali con funzione antierosiva, palificate semplici, graticciate, cespugliamenti consolidanti, inerbimento della superficie risistemata	
<b>Movimenti di massa</b>	Briglie in c.a., briglie filtranti	Briglie in legname e pietrame	Casse di laminazione e aree di invaso rinaturalizzate, barriere anti-debris in funi metalliche
<b>Erosioni in scarpate</b>	Muri di contenimento	Grate vive, sistemi di palificate vive di sostegno a doppia e singola parete	Pannelli di reti armata a contatto + antierosivi e rivegetazione
<b>Erosioni di sponda</b>	Muri spondali, difese in massi cementati, gabbionate	Difese in massi rivegetate, scogliere in massi vincolati, coperture diffuse, rivegetazione spondali, palificate vive di sostegno spondali	Ricalibrature degli alvei, allargamento della sezione di deflusso e opere di protezione spondale, rinaturalizzazione e inserimento paesaggistico

Figura 7 Tipologie di dissesti e possibilità di intervento (Regione Piemonte 2003).

### 3.1 Opere di ingegneria naturalistica

Come accennato precedentemente i materiali che vengono utilizzati nelle opere di ingegneria naturalistica sono principalmente legno, pietra, vegetali vivi o parti di essi e materiali secondari come stuoie e reti.

I materiali possono essere distinti in base alla funzione che svolgeranno:

- *Materiali strutturali*: legname tondo, alberi scortecciati, legname squadrato;
- *Materiale di riempimento*: pietrame, ciottoli, pietrisco, terra;
- *Materiali vivi*: talee, piante radicate;
- *Materiali di completamento*: tubi drenanti, geotessuti, reti di fibra naturale, fascine drenanti, reti in acciaio;
- *Materiale di assemblaggio*: chiodi, tondini di acciaio, graffe.

Tutte queste tipologie di materiali vanno a costituire gli elementi delle varie opere di ingegneria naturalistica, queste possono essere ulteriormente suddivise in relazione alla funzione prevalente svolta dalla singola tipologia d'intervento, possiamo così dividerle in gruppi:

- Opere deputate al miglioramento della capacità drenante dei terreni, alla difesa dall'erosione superficiale, alla rinaturalizzazione dei versanti;
- Opere deputate alla regimazione idraulica e al drenaggio;
- Opere deputate alla ricostituzione strutturale dei versanti;
- Opere deputate alla stabilizzazione di alvei e impluvi e alla difesa spondale.

### **3.1.1 Prima tipologia di interventi**

Nella prima tipologia di interventi troviamo tutti gli interventi di messa a dimora di specie arbustive e arboree, i cespugliamenti consolidanti e le tecniche di inerbimento, ovvero tutte quelle opere di rivegetazione. Di questo gruppo fanno parte anche gli interventi con fibre naturali e geosintetici.

Come già accennato la vegetazione nonché materiali inerti quali geotessuti, geomembrane, possono avere un ruolo essenziale per difendere il terreno dall'erosione superficiale.

Il primo aspetto che si va a considerare sono le tecniche di inerbimento, le quali possono aiutare sia nella stabilità di un versante, (con la presenza delle radici) sia come protezione contro la pioggia, inoltre possono anche ristabilire processi vegetazionali e condizioni di fertilità.

L'inerbimento può avvenire attraverso la semina a spaglio (a mano) oppure attraverso l'idrosemina soprattutto in luoghi difficilmente raggiungibili (Figura 8).



**Figura 8 Inerbimento eseguito su pendio acclive tramite posa di reti in fibra naturale ed idrosemina.**

L'idrosemina consiste nella distribuzione a pressione di un mix costituito da acqua, semi, concime, substrato organico di protezione (paglia, torba) e sostanze leganti.

All'inerbimento viene associato l'utilizzo di reti in fibre naturali o geosintetiche. Queste reti sono l'unica difesa del terreno dall'erosione superficiale ad opera delle acque meteoriche.

Logicamente l'efficacia del materiale decade dopo qualche stagione, ma dovrebbe essere sostituita dalla presenza della vegetazione.

Come geosintetico quindi si definisce un prodotto fabbricato fuori dal cantiere e costituito da uno o più materiali abbinati, a seconda delle caratteristiche che si vogliono ottenere.

I geosintetici si dividono in:

- *Geotessili*: sono costituiti da fibre sintetiche, prodotti con polimeri quali poliammide, polietere, polipropilene, polietilene.
- *Geomembrane*: strutture caratterizzate da un bassissimo coefficiente di permeabilità, pertanto vengono impiegati come impermeabilizzanti. Sono costituiti da polimeri quali polietilene (PE) o cloruro di polivinile (PVC).
- *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, il drenaggio, l'impermeabilizzazione e la rivegetazione.

### **3.1.2 Seconda tipologia**

Nella seconda tipologia vi sono opere atte a far fronte a problematiche come i fenomeni di fluidificazione del suolo per saturazione della coltre di terreno superficiale, con sistemi drenanti e canalizzazioni, queste opere riducono la capacità di saturazione del terreno riducendo così i fattori di destabilizzazione.

Quando parliamo di regimazione idraulica e drenaggio delle acque, facciamo riferimento alle canalizzazioni, essenziali per la regimazione idraulica delle acque superficiali e dei sistemi drenanti importanti per intercettare le acque del sottosuolo e indirizzarle in modo adeguato ai collettori naturali.

Esistono diverse modalità di canalizzazione:

- Canalette in legname e pietrame; esse sono costituite da pali di legno scortecciati, infissi nel terreno con angolazione corrispondente alla parete dello scavo. Lungo questi pali vengono fissati longitudinalmente attraverso chiodi, travi di lunghezza variabile, il tutto rivestito da blocchi di pietrame.
- Canalette in terra e in legname (Figura 9). Le prime sono rivestite da reti in fibra naturale o geosintetica il tutto rivegetato attraverso l'idrosemina, le seconde invece sono costituite da tavolame, solitamente utilizzate per la raccolta e lo smaltimento di acque provenienti da altri sistemi di drenaggio.

Per sistemi drenanti facciamo riferimento a trincee drenanti, ossia scavi rivestiti da materiale geotessile, con presenza di tubi in PVC alla base dello scavo. Lo scavo infine viene riempito da terra e pietrame. Altro sistema drenante sono le fascinate. All'interno dello scavo viene posizionato un tubo in PVC micro fessurato ricoperto con fascine morte e pietrame.



Figura 9 Canaletta in legname e pietrame per la regimazione delle acque

### 3.1.3 Terza tipologia

Nella terza tipologia vi sono tutte quelle opere con funzione di consolidamento, sostegno, contenimento e protezione dall'erosione. Vi troviamo le opere in legname quali le palificate di sostegno (Figura 10), le palizzate, le grate vive. Anche le opere in pietrame, oltre a quelle in legname, trovano il loro impiego per le stesse problematiche.



Figura 10 Palificata semplice a ridosso di una strada forestale

### 3.1.4 Quarta tipologia

La quarta tipologia è l'insieme delle opere deputate alla difesa delle sponde e alla stabilizzazione degli alvei. Possiamo avere opere idrauliche trasversali e longitudinali. Le opere idrauliche trasversali sono opere che vanno a sbarrare gli alvei naturali e vengono usate per la stabilizzazione dei corsi d'acqua. Esse sono utilizzate per correggere il profilo di fondo dei torrenti, per trattenere il materiale solido o legnoso trasportato, e per rallentare la corrente. Le opere idrauliche longitudinali sono costruite per difendere le sponde e vengono impiegate dove l'attività torrentizia ha elevata capacità di trasporto solido (Figura 11).



**Figura 11** Briglia in legname e pietrame con dissipatore in legname.

## 4 OPERE IN LEGNAME

### 4.1 Tipologia di opere in legno

#### 4.1.1 Palizzate

Sono opere costruite per stabilizzare il terreno di scarpate in frana. Sono costituite da legname scortecciato di larice o castagno, di diametro minimo di 20cm, messo perpendicolarmente alla linea di pendenza, legato e fissato saldamente al terreno con pali in legno detti piloti. La palizzata viene consolidata dall' inserimento di talee, a monte dell' opera vengono messe a dimora piantine radicate o viene fatto un inerbimento forzato. Le palizzate vengono disposte in linea continua sul versante o a scacchiera.

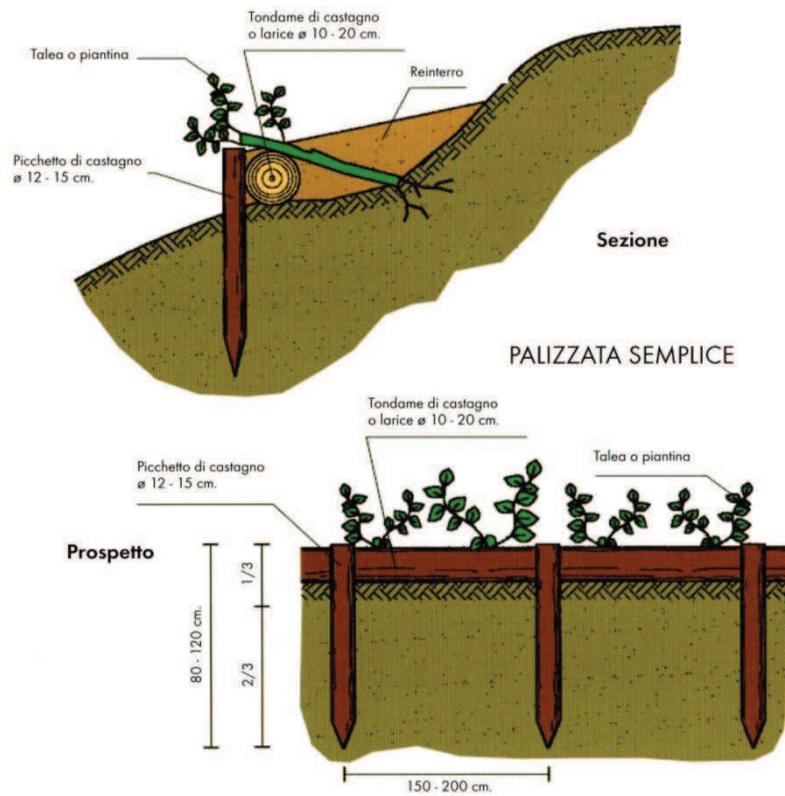


Figura 12 Esempio di palizzata viva di sostegno (Consorzio Forestale Valle Allione 2009).

#### 4.1.2 Palificate vive di sostegno

Sono opere che vengono impiegate nella stabilizzazione di pendii e scarpate in dissesto. Sono anch'esse ancorate saldamente al terreno, ma

rispetto alle palizzate presentano delle differenze, in quanto vi è l'inserimento di pali trasversali (traversi) tra i pali orizzontali sovrapposti (correnti).

Possiamo suddividere le palificate in due varianti: palificate a una parete, e palificate a doppia parete, entrambe possono essere vive o morte in base all'inserimento o meno di talee. Le palificate a una parete (Figura 13) hanno i correnti solamente nella parete esposta e i traversi sono infissi nel terreno.

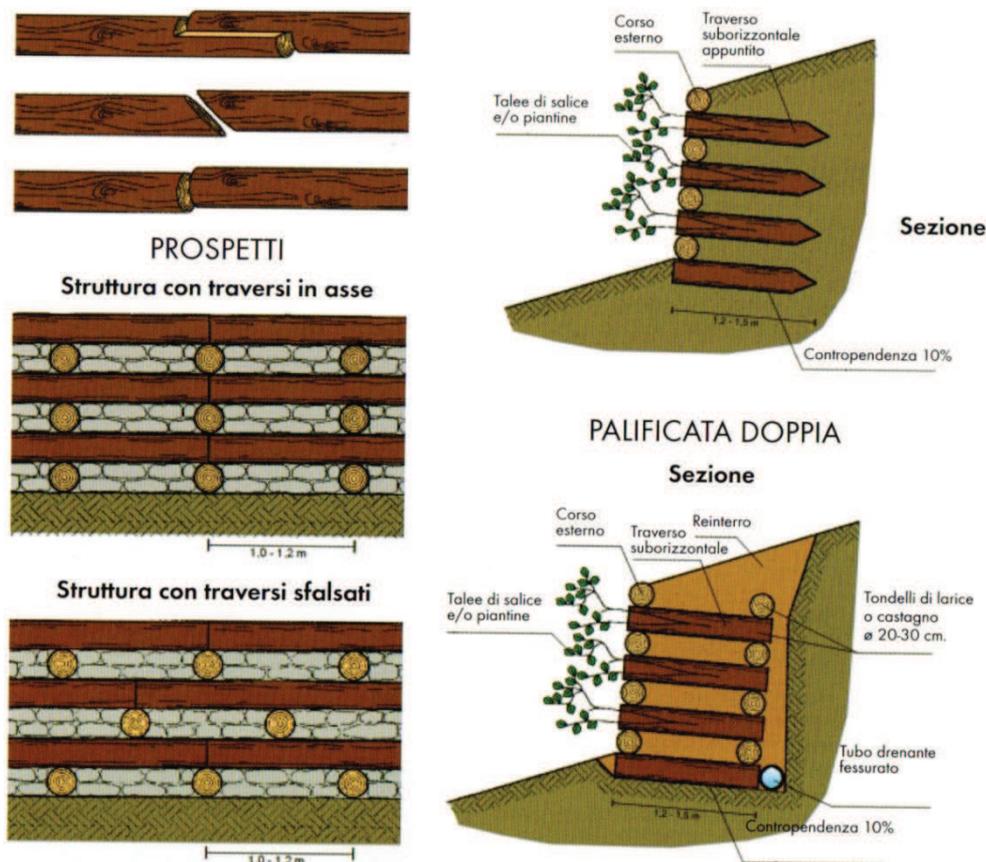


Figura 13 Schema tipo di palificata ad una parete e a doppia parete (Consorzio Forestale Valle Allione 2009).

Le palificate vive a doppia parete (Figura 13) sono strutture autoportanti di tipo elastico e a differenza delle opere di tipo tradizionale come muri in CA che sono di tipo rigido, svolgono un'azione più efficace poiché riescono ad assorbire i piccoli assestamenti del terreno, ed hanno anche

un'alta capacità drenante; non necessitano di una struttura di fondazione, ma viene eseguito un piano di fondazione ben battuto in modo da ridurre gli assestamenti del terreno. Le palificate possono essere messe in opera anche su pendii di difficile accesso, hanno ottime caratteristiche drenanti, e nell'ambiente rurale montano creano risultati paesaggistici migliori. Il legname nelle palificate a parete doppia è disposto a creare una cassa che viene riempita di materiale inerte con funzione drenante. Tipico ingombro di questa struttura è di 1.5m di spessore per un'altezza inferiore al doppio della base, se si volesse avere una struttura più alta bisognerebbe ricorrere ad una sistemazione a gradoni. Per favorire il contenimento del materiale a valle vengono utilizzati geotessuti, pietrame o pezzi di legname. Questa operazione e quella di riempimento sono più difficili nelle opere a traversi alternati ma che hanno maggiore robustezza e stabilità.

#### **4.1.3 Briglie in legname e pietrame**

La briglia in legname e pietrame di consolidamento è un'opera trasversale al corso del torrente, costruita per stabilizzare e correggere il profilo di fondo dell'alveo e per rallentare la corrente (Figura 14). Rispetto alle opere tradizionali ha il vantaggio di avere una superficie drenante molto superiore poiché i tamponamenti in pietrame sono posati a secco. La briglia in legname e pietrame è utilizzata in corsi d'acqua a carattere torrentizio di modeste dimensioni trasversali. Se il corso d'acqua è caratterizzato da un deflusso minimo costante si stima che l'opera possa durare, se costruita correttamente, fino a 30 anni (MATTM 2006). La briglia è un'opera, che per modalità di costruzione, è simile alla palificata a parete doppia. Come la palificata, anche la briglia necessita di una solida superficie di fondazione per l'ancoraggio al fondo dell'alveo. Su questa solida base è costruito il corpo dell'opera, la parte sommitale è chiamata

gaveta e può essere a sezione trapezoidale o a coda di rondine. Generalmente a valle del salto viene realizzata una platea di massi per la dissipazione dell' energia del flusso idrico e per ridurre l' erosione del fondo. Come per la palificata a doppia parete l'opera viene con pietrame di tamponamento, e se previste, con l'inserimento di talee.

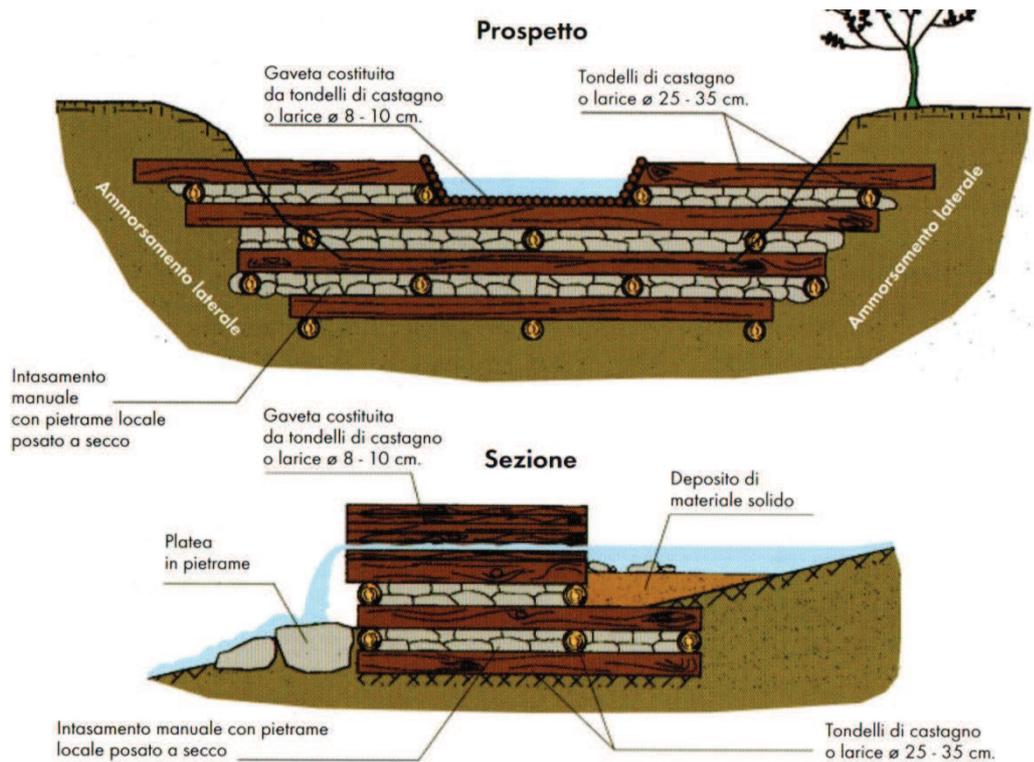


Figura 14 Schema di briglia in legname e pietrame (Consorzio Valle Allione 2009).

## 4.2 Durabilità e cause di degradazione del legno

Le caratteristiche del legname vengono alterate da diverse tipologie di fattori che possono essere di origine abiotica e di origine biotica.

### 4.2.1 Alterazioni di origine abiotica

Prendendo in esame opere costruite all'aperto abbiamo vari agenti di alterazione, come la *luce*, l'umidità, la temperatura, la ventosità causano fessurazioni longitudinali, e rotture meccaniche dovute ad un ciclo di rigonfiamento e ritiro provocato da un continuo inumidimento e

disseccamento. Queste alterazioni non danneggiano le caratteristiche del legno, ma lo predispongono per l'ingresso di funghi e batteri.

Per quanto riguarda le briglie in legname possiamo avere anche importanti alterazioni dovute ad usura meccanica poiché sono maggiormente sottoposte ad abrasione del materiale solido trasportato dalla corrente; questo può portare a degradazione e rimozione del legname in prossimità del coronamento, ed inizio di un processo degradativo globale dell' opera. Portando ad una conseguente usura dell'ammorsamento laterale con riduzione della stabilità della briglia, ed una successiva infiltrazione di acqua al di sotto della fondazione e sotto escavazione della struttura con conseguente flessione dell'opera e possibile ribaltamento. E' intuibile che l'entità dei danni di natura meccanica è maggiore nei bacini caratterizzati da pendii instabili e forte erosione.

#### **4.2.2 Alterazione di origine abiotica**

La presenza di insetti altera il legno anche se il legname utilizzato proviene da alberi sani, scortecciati e stagionati, può comunque essere attaccato da insetti xilofagi come *Ihylotrupes bajolus* è un insetto cerambicydiae che causa danni sempre molto gravi, esso depone le uova nelle fessure del legno di conifera, poi le larve scavano gallerie profonde nel legno.

I danni causati da batteri sono i più devastanti essi attaccano la parete cellulare, i batteri che attaccano il legname in opera sono saprofiti, tali batteri sia aerobi che anaerobi utilizzano il legno come substrato nutritivo aumentandone la permeabilità. L'azione distruttiva dei batteri è comunque minore rispetto a quella dei funghi, essi infatti rappresentano il

più importante gruppo tra i vari agenti degradatori del legname posto in opera a contatto con il terreno.

Abbiamo varie tipologie di funghi lignivori che provocano la carie bianca, bruna e soffice a seconda delle modalità di attacco, la distinzione tra le diverse tipologie di carie è basata sulla diversa azione degradativa che i funghi esercitano sulla parete cellulare e la lamella mediana attaccando cellulosa, emicellulosa e lignina.

Un aspetto molto importante per l'attacco da parte dei funghi lignivori è l'umidità del legno, l'optimum per il loro sviluppo è compreso tra il 20 e l'80% di umidità, mentre la loro azione è inibita al di sotto del 20% o nel caso di legname imbibito, per questi motivi in fase di costruzione di un'opera è quindi preferibile una giunzione obliqua dei traversi che impedisce il ristagno d'acqua e umidità. Il legno già attaccato dai funghi è spesso accompagnato dalle muffe primarie e secondarie, che sono in grado di deteriorare la parete cellulare e favorire la capacità di assorbire acqua e quindi inducono l'aumento di umidità del legno e tutte le conseguenze che ne derivano.

## **4.3 OPERE IN MASSI**

### **4.3.1 Scogliera**

E' un'opera simile ad un muro a secco ma con la particolarità di essere realizzata con massi di grosse dimensioni (ciclopici).

Viene impiegata sia in alveo come opera longitudinale, ma anche trasversale (briglie o soglie), sia in versante; la sua funzione principale è quella di consolidamento al piede delle sponde dei corsi d'acqua e delle scarpate in genere. Protegge dall'erosione idraulica trattenendo il terreno a monte di essa.

Il primo corso di massi, oltre ad impiegare materiale di grosse dimensioni, deve essere posto sotto la linea di portata minima dell'alveo, impedendone così lo scalzamento. Può essere rivegetata con la posa di talee di salice negli interstizi lasciati tra un masso e quello adiacente; le talee conferiscono migliori garanzie di consolidamento del terreno a monte della scogliera e questo risultato dipende anche dalla loro lunghezza e dal loro numero, quindi maggiori saranno le dimensioni delle talee e maggiore sarà il numero di talee messe a dimora migliori saranno i risultati di stabilità ottenuti (Figura 15).

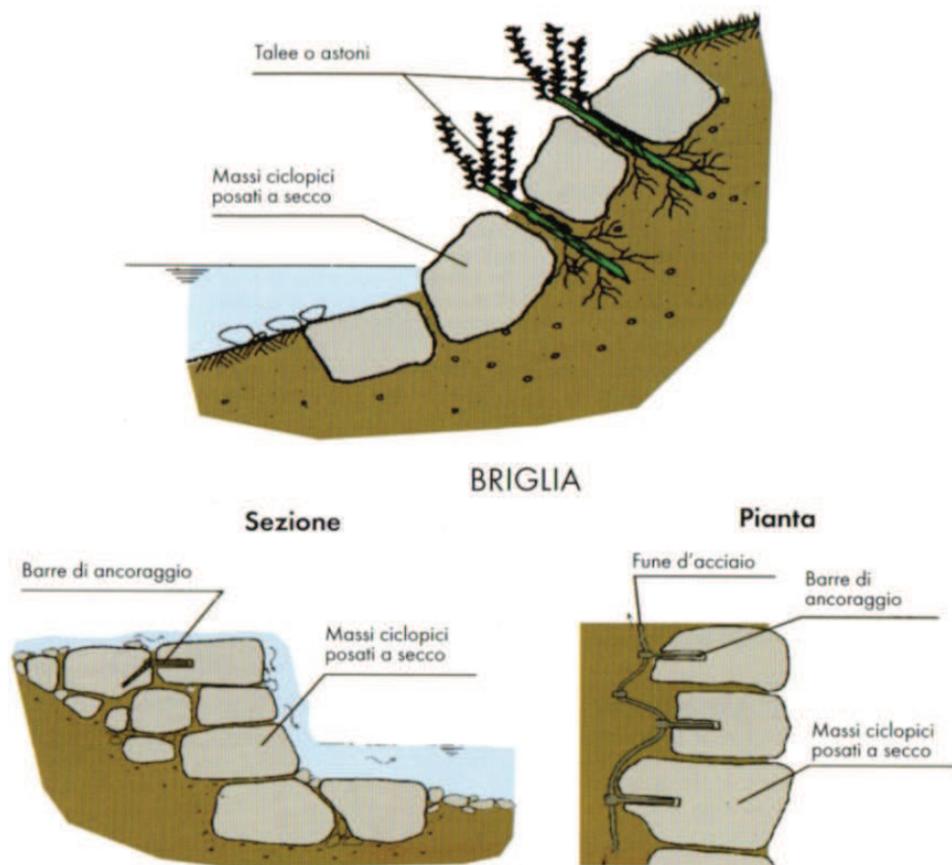


Figura 15 Sezione tipo di scogliera spondale (Consorzio Valle Allione 2009).

## 5 INTERVENTI CONSIDERATI

Nelle seguenti pagine andrò a trattare due interventi di sistemazione idraulico-forestale, posti a qualche decina di metri l'uno dall'altro, e con le medesime caratteristiche geopedologiche.

### 5.1 Inquadramento territoriale

Risalendo la Valle Camonica, situata in provincia di Brescia, si arriva all'altezza dell'abitato di Edolo. Proprio qui, nell'Alta Valle Camonica, la vallata si biforca: una biforcazione porta verso il Passo dell'Aprica, che mette in comunicazione la Valle Camonica con la Valtellina, dall'altra sale verso il Tonale e Ponte di Legno con un percorso sovrastato dalle cime che costituiscono il gruppo dell'Adamello. Proprio a Nord dell'abitato di Edolo è situato l'intervento che nelle prossime righe andrò a trattare, e precisamente interessa il tratto iniziale di Valle delle Berarde compreso tra le sorgenti a quota 1.950,00 m s.l.m. circa e l'attraversamento stradale posto a quota 1.690,00 m s.l.m. nei pressi della località Mola.

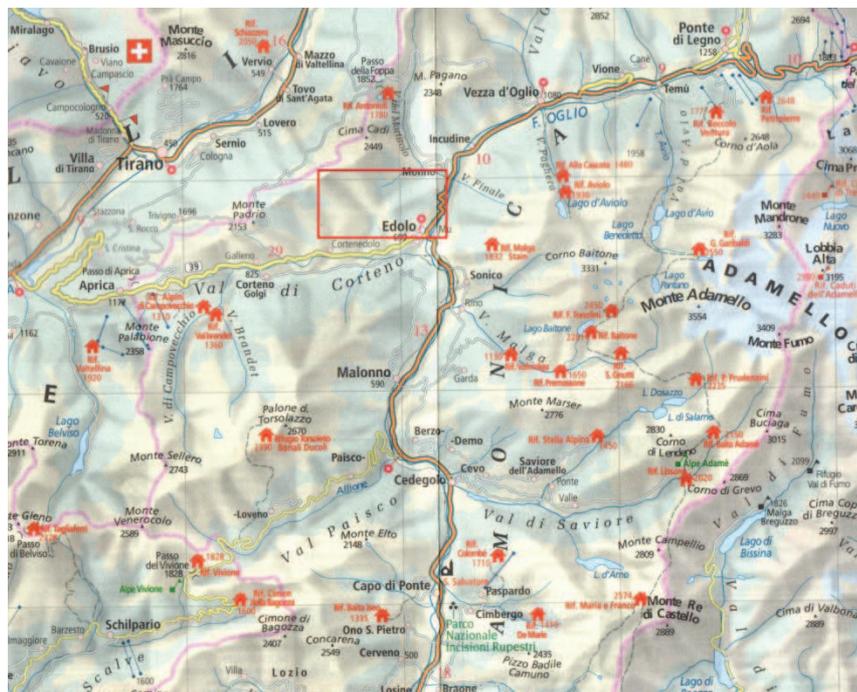


Figura 16 Carta d'inquadramento dei siti.

## **5.2 Inquadramento geologico**

La morfologia dell'area è legata a due principali fattori geologici: la presenza di un substrato roccioso caratterizzato da una densa fascia di fratture, alla quale viene comunemente dato il nome di lineamento insubrico, ed il passato glaciale del settore, con lo scorrimento su tale substrato sia di colate glaciali originate dalla vicina Valle dell'Adda che da lingue minori discendenti dalle creste e dalle dorsali sommitali.

La continua degradazione meteorica, avvenuta nel quaternario, ha infine determinato l'assetto morfologico attuale, la cosiddetta linea Insubrica è un' insieme di grosse discontinuità ad orientazione Est-Ovest, questa è evidenziata da una serie di avvallamenti e pianori compresi tra il Dosso di S.Giacomo e Motto della Scala.

A sud della Linea Insubrica affiorano rocce appartenenti agli scisti di Edolo, alle due superfici di movimento sono associate estese fasce rocciose intensamente fratturate ed alterate.

Su queste aree meccanicamente più fragili gli agenti erosivi hanno svolto un'azione più profonda portando alla formazione di pianori e avvallamenti.

Il substrato roccioso è ricoperto da una spessa coltre di depositi glaciali, nella parte superiore dell'area tali depositi sono tipicamente morenici, e presentano caratteri litologici e granulometrici estremamente eterogenei: sono costituiti prevalentemente da ciottoli e ghiaie immersi in una matrice sabbiosa, talora con intercolazioni limoso-argillose, spesso al loro interno, si rinvencono grossi massi erratici con diametri superiori a qualche metro. A partire da quote inferiori a circa 1800 m s.l.m., si riscontra la presenza di depositi fluvioglaciali, costituiti in misura maggiore da ghiaia e sabbia

debolmente limosa e in genere caratterizzati dalla presenza di stratificazioni.

Tali caratteristiche litologiche condizionano anche gli aspetti idrogeologici dell'area, caratterizzata dalla presenza di diffuse emergenze idriche. La presenza di orizzonti poco permeabili alla base dei depositi fluvioglaciali, infatti, impedisce la penetrazione delle acque in profondità contribuendo, al contrario, ad una loro diffusa emergenza.

I depositi morenici e fluvioglaciali sono a loro volta ricoperti dai terreni agrari e dagli orizzonti vegetali, questi ultimi, a seguito sia delle numerose venute idriche superficiali che caratterizzano l'altopiano, sia del pesante sovraccarico di bestiame pesante, sono interessate da numerose rotture del cotico erboso.

I fenomeni di dissesto in esame sono ubicati nell'ambito torrentizio della Val di Sacco, questo settore presenta la tipica forma di modellamento ad U ed ha caratteristiche di valle glaciale sospesa. Più in basso, l'impluvio acquista il nome di Valle di San Sebastiano, ha caratteristiche prettamente torrentizie ed è impostato prevalentemente in roccia. Qui l'approfondimento del fondo del torrente, legato alla forte dinamica morfologica venutasi a creare in seguito al ritiro dei ghiacciai, ha determinato la formazione di ripide ed alte scarpate continuamente erose al piede dal torrente stesso. I fenomeni erosivi si sono trasferiti progressivamente alla parte superiore dell'asse vallivo, ove giace la potente coltre di depositi morenici e fluvioglaciali sopra descritta, generando l'approfondimento dei solchi di erosione e la nascita di una morfologia, tuttora parzialmente attiva, di tipo calanchivo.

### 5.3 DESCRIZIONE dell'INTERVENTO in località VALLE DELLE BERARDE

La Valle delle Berarde si colloca sul versante con esposizione meridionale del monte Motto della Scala 2.334,50 m s.l.m., le sorgenti si collocano poco più a valle della località Fontana Lunga 2.050,00 m s.l.m. a valle delle quali il percorso del torrente fiancheggia le località Baita Mola 1.830,00 m s.l.m., Pianazzi 1.692,20 m s.l.m. fino al punto di inserimento nel principale alveo di Valle S. Sebastiano a 1.550,00 m s.l.m. circa.

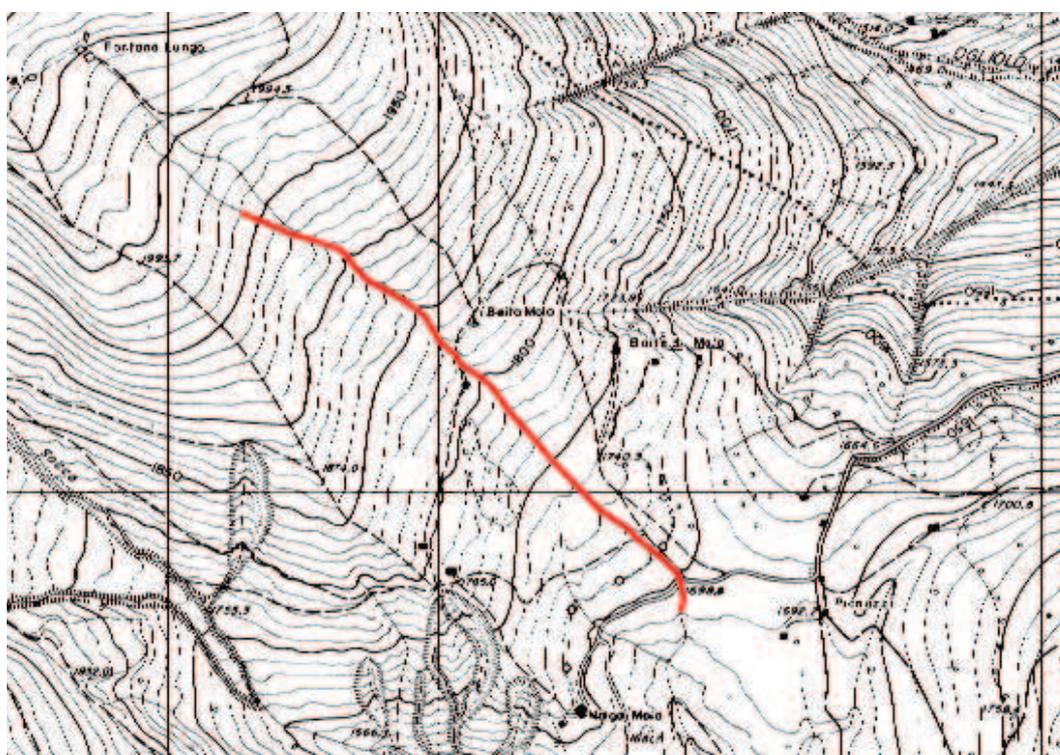


Figura 17 Stralcio CTR Scala 1:10000

Nel corso degli ultimi anni le intense precipitazioni meteoriche che hanno caratterizzato il periodo tardo estivo-autunnale, associate alla pratica di un pascolo irrazionale a carico dell'area di incidenza delle sorgenti ha creato forti destabilizzazione degli strati superficiali del terreno (Figura 18, Figura 19).



**Figura 18** Zona delle sorgenti da cui ha inizio l'asta torrentizia e dove sono visibili evidenti fenomeni di erosione spondale.



**Figura 19** Zona delle sorgenti a monte con evidenti segni di dissesto.

Tale situazione idealmente ha avuto una serie successiva di stadi di sviluppo, inizialmente l'eccessiva concentrazione di un carico bovino pesante e sovradimensionato in prossimità dell'area delle sorgenti ha generato l'erosione del cotico erboso abbattendo massivamente la protezione che naturalmente veniva garantita dalla rete intrecciata degli apparati radicali della vegetazione erbacea. Inoltre, il peso degli animali

condotti al pascolo in ragione dell'eccessivo numero degli stessi ed al peso della tipologia monticata ha generato fessurazioni e rotture del cotico ancora presente creando vie preferenziali e concentrate di infiltrazione del deflusso superficiale negli strati inferiori (Figura 20).



**Figura 20 Danneggiamento dell'attraversamento stradale ed accumulo di materiale a monte.**

Tutti questi fattori associati alle precipitazioni che hanno caratterizzato il periodo tardo estivo dell'anno 2006, hanno generato la movimentazione di materiale solido nella porzione alta dell'asta torrentizia che scorrendo verso valle ha lentamente intaccato il fondo e le sponde dell'alveo (Figura 21), aumentando il volume del materiale trasportato fino a generare una vera e propria colata detritica che in prossimità di Baite Mola ha generato il sovralluvionamento della sezione idraulica con fuoriuscita di materiale che ha danneggiato fabbricati ( Figura 22) ed interrotto la viabilità agro-silvo-pastorale (Figura 23).



**Figura 21 Erosione di fondo e sponde della sezione idraulica. Figura 22 Fuoriuscita del materiale e danneggiamento di alcuni fabbricati.**



**Figura 23 Interruzione della viabilità agro-silvo-pastorale.**

#### **5.4 OPERE REALIZZATE**

In relazione ai fattori che hanno scaturito il sovralluvionamento, sono state definite le linee d'intervento, le quali hanno come finalità principale il ripristino della sezione idraulica garantendo la continuità idraulica del torrente dalle sorgenti sino all'attraversamento stradale in località Pianazzi. Gli interventi realizzati sono volti al consolidamento degli argini e del fondo del torrente per creare le condizioni idonee al convogliamento della portata solida da monte verso valle nel rispetto della sezione idraulica.

E' stato eseguito un lavoro preliminare di asportazione delle piante schiantate all'interno delle vie preferenziali di deflusso e all'interno dell'alveo al fine di migliorare lo smaltimento delle portate liquide e solide ed impedire che si possano formare temporanei sbarramenti, per migliorare la stabilità idrogeologica dell'intera area è stata eseguita una manutenzione forestale del popolamento arboreo presente all'interno

dell'area con la finalità di equilibrare l'assetto fisionomico-strutturale del soprassuolo.

Nella parte più a monte dell'intervento è stato realizzato un canale in legname di larice e pietrame a basso impatto ambientale (Figura 24) con la funzione di concentrare le venute idriche all'interno dell'alveo oggetto di sistemazione evitando così l'innescò di generalizzati fenomeni erosivi.



**Figura 24 Particolare del canale realizzato a monte dell'intervento.**

Nella parte subito sottostante sono poi state realizzate una serie di ventinove briglie, (Figura 25) sempre utilizzando lo stesso materiale, ovvero, legname di larice scortecciato con diametro variabile da venticinque a quaranta centimetri e pietrame locale per favorire un basso impatto ambientale, con finalità di realizzare opere di sostegno che oltre a rimodellare la pendenza dell'alveo creando salti e rallentamenti al deflusso, svolgeranno un' importante funzione di contenimento all'erosione del fondo del torrente preservando da eventuali destabilizzazioni per mancanza di sostegno basale.



**Figura 25 Serie di briglie in legname e pietrame realizzate nell'asta torrentizia.**

Inoltre nei tratti di alveo in cui i precedenti eventi di trasporto solido hanno eroso le sponde e sono evidenti i fenomeni di destabilizzazione, sono state realizzate scogliere con massi ciclopici con funzione di protezione spondale in quei tratti maggiormente danneggiati (Figura 26).



**Figura 26 Scogliere in massi ciclopici a protezione delle sponde.**

Inoltre in prossimità dei due attraversamenti stradali sono stati realizzati cunettoni in pietrame posato su un letto di malta con inserimento di un foglio di rete elettrosaldata per aumentarne la resistenza, muri di sostegno e briglie realizzate con pietra a faccia vista nella parte a valle mentre nella parte a monte è stato posato un doppio strato di rete elettrosaldata che è stato annegato nella malta man mano che si procedeva con l'elevazione del muro, mentre la gaveta è stata rivestita da lastre di pietra per ridurre i pericoli di rottura della muratura ad opera della portata solida, ed al fine di realizzare strutture idonee dal punto di vista statico ma con un contenuto impatto ambientale minimizzando la vista del calcestruzzo (Figura 27).



**Figura 27 Particolare della briglie in muratura con gaveta rivestita da lastre in pietra.**

Sono state infine ripristinate le superfici a pascolo danneggiate dal sovralluvionamento provvedendo all'asportazione del materiale trasportato durante l'evento di piena, ed è stata eseguita la semina a spaglio del miscuglio erbaceo per poter ripristinare il cotico erboso

danneggiato o asportato dall'evento calamitoso, inoltre si è provveduto con l' inerbimento delle superfici in cui a seguito dei lavori è venuta a mancare la copertura erbacea.

Per il trasporto del materiale nei punti non accessibili da autocarri è stato reso necessario l'utilizzo dell'elicottero(Figura 28).



**Figura 28 Impiego dell'elicottero per approvvigionamento del legname al cantiere nelle zone non accessibili da autocarri.**

## 6.UBICAZIONE INTERVENTO in località MOLA

L'intervento è situato sul versante posto a nord-ovest dell'abitato di Edolo, ai piedi del monte Motto della Scala (2334.50 m s.l.m.), nelle vicinanze dei fabbricati di Malga Mola Bassa, ad una quota che va dai 1600 m s.l.m. (tratto di viabilità agro-silvo-pastorale "Mola-Lagazzuolo"), ai 1785 m s.l.m. (corona di frana).

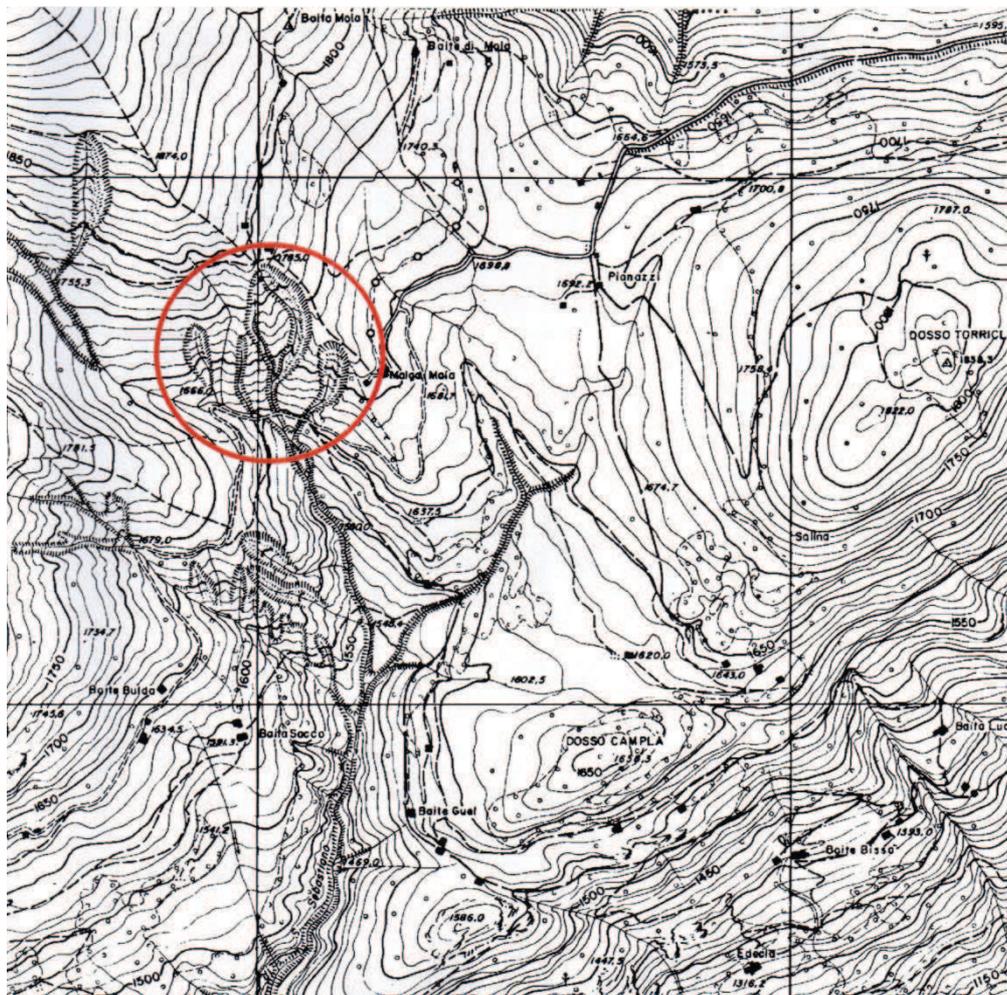


Figura 29 Stralcio di CTR scala 1:10000

### 6.1 Inquadramento delle aree in dissesto

Dal punto di vista morfologico, le aree in dissesto oggetto di analisi sono ubicate sulle scarpate di erosione che delimitano il fianco sinistro idrografico dell'ambito torrentizio della Valle di Sacco, a quote comprese

tra i 1650 ed i 1800 m s.l.m. di quota, ove raggiungono la linea di displuvio tra il bacino della Valle di Sacco e la "Piana di Mola".

Questi fenomeni erosivi sono comunemente detti regressivi, in quanto le scarpate sono (o sono state) continuamente erose al piede dai torrenti stessi ed i fenomeni erosivi si trasferiscono (o si sono trasferiti) progressivamente alle parti superiori delle pendici.

In linea generale, le caratteristiche intrinseche della coltre glaciale del settore contribuiscono all'evoluzione di tali fenomeni; questi depositi infatti, sono caratterizzati sia da una matrice sabbioso-limoso-argillosa, sia, in alcuni casi, da una grossolana stratificazione disposta parallelamente alla direzione del pendio che li suddivide in livelli dello spessore di pochi metri. La presenza di orizzonti poco permeabili in seno a questi livelli impedisce la penetrazione delle acque in profondità contribuendo, contribuendo, viceversa, ad una loro diffusa emergenza. Un'altra tipica caratteristica di questi materiali, è quella di possedere buoni requisiti di coesione in condizioni asciutte, ma di venire facilmente rammolliti e fluidificati quando portati in condizioni di saturazione. I depositi morenici, infine sono facilmente degradabili sulle superfici non coperte dalla vegetazione, pertanto, una volta erosa la coltre protettiva vegetale, i dissesti si propagano con facilità. Anche l'esposizione meridionale dei pendii ha influenza sull'evoluzione delle erosioni: durante la stagione fredda, infatti, vi si determinano un maggior numero di cicli gelo-disgelo, mentre in quella estiva, a causa della maggiore insolazione, si produce un maggior grado di inaridimento della matrice limoso-argillosa dei depositi, i quali divengono in questo modo particolarmente vulnerabili all'erosione esercitata dalle acque dilavanti, in concomitanza dei frequenti temporali estivi.

Come si può osservare sia dalla carta morfologica allegata, sia dalla documentazione fotografica, vi è la presenza di più nicchie erosive; allo stato attuale, alcune di queste, sono ormai stabilizzate e colonizzate dalla vegetazione, altre parzialmente quiescenti e altre tuttora in attività; i segni sulle scarpate e, soprattutto, quelli a ridosso dell'orlo superiore di queste ultime indicano che, in questi ultimi anni, tali erosioni sono regredite verso NE di vari metri (Figura 30).

Come precedentemente evidenziato, quando è attivo l'approfondimento delle incisioni degli impluvi in erosione, i fenomeni si trasferiscono progressivamente alle parti superiori delle pendici e l'erosione avanza (cioè regredisce verso monte). Quando, viceversa, l'approfondimento di fondo si arresta (ad esempio per l'intervento antropico o per il raggiungimento del substrato roccioso), l'erosione sulle pendici avanza sino a che queste non raggiungono il loro profilo di equilibrio. Anche in questo caso l'intervento antropico può accelerare la stabilizzazione delle pendici.

Nel caso in esame, la presenza di alcuni affioramenti rocciosi e la realizzazione di alcune grosse briglie hanno determinato il rallentamento dell'erosione di fondo nel settore mediano dell'impluvio principale. Tali opere sono state realizzate anche per contribuire a difendere la pista forestale che si snoda più a valle dal periodico alluvionamento di materiale prodotto dall'erosione spondale.



Figura 30 Panoramica delle aree in dissesto.

## 6.2 Opere previste in fase progettuale

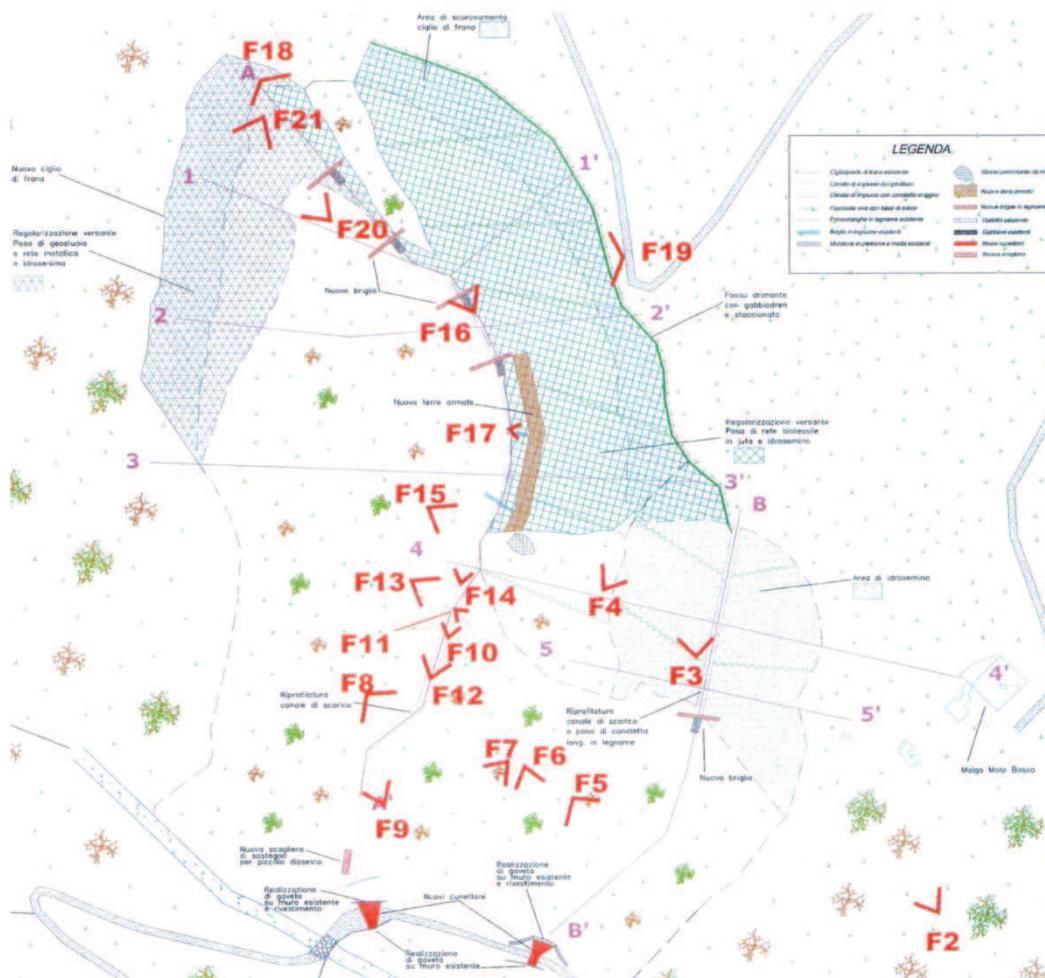


Figura 31 Carta indicante l'ubicazione delle opere previste con indicati i punti fotografici.

L'area di intervento può essere suddivisa in tre settori, corrispondenti grosso modo a tre impluvi principali ai quali fanno capo altrettante nicchie di erosione (Figura 31).

Il bacino più meridionale è caratterizzato nella porzione inferiore da pendici con acclività medie modeste e quasi completamente colonizzate dalla vegetazione, ove non si riscontrano fenomeni di dissesto significativi (Figura 32-foto n°5 rif fig 31), se non all'intersezione del solco erosivo principale con la strada Mola – Lagazzuolo, periodicamente inondata sia dal flusso di esondazione che dai materiali trascinati in concomitanza di eventi meteo intensi.



**Figura 32 Bacino meridionale ormai completamente colonizzato.**

La porzione superiore, viceversa, è caratterizzata da acclività molto sostenute e da fenomeni di erosione particolarmente attivi, tali da determinare il progressivo arretramento del ciglio di erosione (Figura 33)



**Figura 33 Particolari di fenomeni erosivi particolarmente attivi (foto n°2-3 rif fig 31)**

A seguito di tale dinamica morfologica, è stato proposto di estendere anche a questa nicchia gli interventi di regolarizzazione delle pendici e di protezione del terreno con la posa di biostuoie in juta previste nel settore centrale.

Ai piedi delle scarpate di erosione, in corrispondenza della confluenza in un unico fosso dei tre principali solchi di ruscellamento che le caratterizzano, è necessario fissare la quota di fondo dell'impluvio con una briglia in legname, è anche opportuno realizzare un unico canale di scarico centrale dove concentrare le acque ruscellanti raccolte dalle fascinate da mettere in opera sulle pendici rimodellate.

Vista la notevole acclività del fondo del canale è necessario realizzare salti di fondo attraverso la costruzione di briglie in legname e pietrame e la realizzazione di soglie in massi ciclopici sotto le nuove briglie per limitare la forza dell'impatto dell'acqua sotto la gaveta e per evitare un eventuale scalzamento al piede della briglia che farebbe collassare il manufatto.

L'impluvio centrale è il più esteso dei tre considerati, il torrente che lo solca nel mezzo tracciando un'ampia curva verso Ovest, risulta leggermente sospeso rispetto al torrente recettore (torrente Val di Sacco); in questa parte terminale vi è un affioramento roccioso molto evidente,(Figura 34) da scaturire la maggior acclività di questo impluvio rispetto a quello precedentemente descritto, questa maggiore acclività ha portato a dar luogo ad un modesto fenomeno erosivo spondale che si prevede di tamponare con un piccolo tratto di scogliera.



Figura 34 Affioramento roccioso inciso dal rio stesso (foto n°8 rif fig 31).

Viceversa, in analogia al primo bacino, anche in questo i materiali detritici trasportati dal torrente in concomitanza ad eventi intensi provocando la periodica inondazione della strada Mola – Lagazzuolo.

A causa di queste problematiche, e vista l'importanza dell'opera per la stabilizzazione del fondo dell'impluvio, sarà opportuno, come intervento di consolidamento, la realizzazione di una nuova briglia poco più a monte, precisamente alla confluenza del solco erosivo, in tale settore, in particolari condizioni, il torrente acquisisce energie relativamente sostenute e tende ad erodere i materiali detritici da lui stesso depositi (Figura 35).



Figura 35 Particolare del grosso monolite e dei detriti trasportati dal rio (foto n°14-15 rif fig 31).

La parte superiore dell'impluvio in esame è costituito da nicchie erosive in progressivo arretramento ed è pertanto previsto di realizzare 4 nuove

briglie per il consolidamento del fondo; e, nel tratto più soggetto all'azione erosiva, è prevista la realizzazione di nuove terre armate atte anche a consolidare le pendici sovrastanti e il materiale risultante dallo scoronamento dei cigli delle nicchie.

Risalendo ulteriormente il fondo dell'impluvio, il rio si suddivide in due solchi separati da un settore ormai completamente colonizzato dalla vegetazione erbosa.

Quello principale piega a sinistra ed è stato oggetto di riprofilatura; quello di destra non mostrava segni erosivi particolarmente accentuati, ma poiché è possibile che, a seguito della regolarizzazione dei pendii sovrastanti, in concomitanza di eventi intensi vi si concentri una quantità di acqua superiore a quella che vi scorre attualmente, sarà opportuno realizzare due salti di fondo (Figura 36).



**Figura 36** Punto in cui l'impluvio si suddivide in due solchi (foto n°12 rif fig 31).

Alla sommità del solco principale si estendono le pendici più acclivi, in alcuni tratti del ciglio delle scarpate addirittura aggettanti. A seguito di tali aspetti, dopo la regolarizzazione dei versanti, verrà protetto il terreno

con geostuoia in fibra naturale e rete metallica a doppia torsione lungo il versante in destra orografica e successiva idrosemina per ridurre i tempi di formazione di un nuovo cotico erboso protettivo. Anche lungo il versante in sinistra orografica,(Figura 37), che verrà precedentemente regolarizzato, sarà eseguito lo stesso intervento di consolidamento, mediante la posa di geostuoia in juta con maglia 1 x 1,5 cm, e successiva idrosemina di miscuglio erbaceo.



**Figura 37** Panoramica delle pendenze particolarmente importanti e delle zone maggiormente in dissesto (foto n°18 rif fig 31).

Lungo la cresta del dissesto verrà creato un canale di intercettazione delle acque superficiali, per una lunghezza totale di 220 metri, con posa di pannelli drenanti tipo “gabbiodren” questo tipo di pannelli ha struttura alveolare che consente una maggiore captazione e allontanamento delle acque superficiali, il pannello drenante viene avvolto in uno strato di geotessuto per evitare che il terreno vada ad intasare i pori, successivamente viene posato all’interno della trincea ed interrato.

Questa trincea drenante costituita da gabbiodren va a confluire le acque precedentemente captate in un canale di scarico in legname di lunghezza

pari a settanta metri con la funzione di regimazione delle acque superficiali.

Lungo la strada Mola – Lagazzuolo sono precedentemente stati realizzati due cunettoni in selciato posato su un letto di malta per permettere l'attraversamento della sede stradale delle acque allontanate dall'area in corso di sistemazione, inoltre sono state parzialmente demolite delle murature presenti lungo la stessa strada agro – silvo – pastorale per la realizzazione di una gaveta a "corda molle" e le murature esistenti sono state successivamente rivestite con pietrame locale faccia a vista e malta, al fine di realizzare strutture idonee dal punto di vista statico ma con un contenuto impatto ambientale minimizzando la vista del calcestruzzo (Figura 38).



**Figura 38 Briglie e cunettone in calcestruzzo e pietrame a vista.**

### 6.3 OPERE REALIZZATE

Il cantiere è stato iniziato alla fine del mese di Aprile del 2014; si è iniziato con la regolarizzazione del versante e contemporaneo scoronamento del ciglio di frana con l'ausilio di escavatore tipo "ragno" (Figura 39).



Figura 39 Escavatore tipo "ragno" in azione.

Successivamente è stata stabilizzata la nicchia di frana più modesta, uniformando la superficie, e protezione del terreno con posa di rete biotessile ed idrosemina (Figura 40).



Figura 40 Posa della rete biotessile in juta.

Da subito si è visto che le opere com'erano state progettate non avrebbero svolto la funzione per cui erano state ideate, per questi motivi è stato necessario redigere una variante in corso d'opera, (vedi allegato), anziché le originarie cinque briglie, ne sono state realizzate otto, sempre in legname di larice, ed inoltre è stato necessario realizzare otto palificate a doppia parete in legname di varie lunghezze ed altezze, quella più importante è lunga venti metri ed alta due, poiché nella parte sommitale dell'intervento sono affiorate delle sorgenti d'acqua che rendevano il terreno molto instabile e realizzando in quest'area cinque palificate si è cercato di diminuire la pendenza del versante con una sistemazione a gradoni (Figura 41) evitando così che il terreno stabilizzato potesse scivolare nuovamente a valle scaturendo così un nuovo dissesto (Figura 42).



**Figura 41** Versante su cui sono state realizzate le palificate.



**Figura 42** Zona in cui sono emerse le sorgenti e si è dovuti intervenire con ordini di palificate.

E' stato necessario fissare la quota di fondo dell'impluvio (Figura 43) con quattro nuove briglie in successione per creare dei salti di fondo, vista la notevole acclività dell'alveo del torrente.



**Figura 43 Palificate in successione per ottenere una sistemazione a gradoni.**

Poco più a valle nel tratto spondale maggiormente soggetto all'azione erosiva del rio era prevista la realizzazione di nuove terre armate, ma in corso d'opera si è visto che con la tipologia di sedimento presente non permetteva una buona riuscita dell'intervento poiché non sarebbe stato possibile stabilizzare il sedimento a monte delle terre armate, per questi motivi anziché le suddette opere, sono state realizzate tre briglie di grandi dimensioni in modo tale da riuscire a stabilizzare completamente il versante (Figura 44).



**Figura 44 Tre briglie principali di cui una in costruzione.**

Tutta la superficie oggetto di intervento è stata successivamente protetta da rete biotessile in juta, ed idroseminata con miscuglio erboso; evitando la messa in opera di fascinate precedentemente previste per il convogliamento delle acque verso le briglie, poiché le nuove opere svolgono già autonomamente questa funzione (Figura 45).



**Figura 45** Visione d'insieme della sistemazione con briglie e palificate.

L'impluvio più meridionale è caratterizzato da acclività molto sostenute e da fenomeni di erosione particolarmente attivi, a seguito di tale dinamica morfologica sono state realizzate due palificate in legname in sinistra orografica (Figura 46), è stato anche opportuno realizzare un canale di scarico centrale in legname (Figura 47) e nella parte terminale una briglia

in legname con dissipatore a valle di questa, realizzato con massi, per evitare che la forza generata dall'acqua possa scalzare al piede il manufatto.



**Figura 46 Particolare delle due palificate in sinistra orografica.**

In fase progettuale si pensava di risolvere il dissesto realizzando una briglia a metà versante diminuendone così l'acclività. In fase operativa, però, ci si è resi conto che quest'opera non era sufficiente a stabilizzare l'intera porzione di versante.



**Figura 47 Realizzazione del canale in legname.**

Al suddetto canale è stata fatta confluire inoltre la trincea drenante realizzata con pannelli tipo “gabbiodren”, che corre lungo tutto il ciglio di frana per una lunghezza complessiva di 200 metri, con la funzione di intercettazione dei deflussi sub superficiali ed allontanarli dall’area oggetto di sistemazione in modo tale che non vadano più a scaturire un nuovo dissesto, ma vengano allontanati correttamente attraverso il canale in legname precedentemente realizzato (Figura 48).



**Figura 48 Canale in legname e reti in biotessile.**

Anche a questo settore sono state estese le operazioni eseguite nelle altre nicchie, ovvero è stata posata la rete biotessile in juta e idroseminata l'intera superficie.

Come opera conclusiva della sistemazione è stata realizzata, lungo l'intero ciglio di frana, una staccionata a salvaguardia di persone e animali che transiteranno in quell'area, evitando che accidentalmente essi possano cadervi e ferirsi, poiché le pendenze sono rimaste comunque importanti (Figura 49).



**Figura 49 Particolare della staccionata realizzata lungo il ciglio di frana**

Per l'approvvigionamento di materiale da costruzione al cantiere, anche in questo caso, ci si è avvalsi dell'utilizzo dell'elicottero poiché non era possibile, vista l'elevata acclività, l'utilizzo di autocarri o trattori forestali

per il trasporto dei materiali nel punto in cui sarebbero dovute sorgere briglie e palificate (Figura 50).



**Figura 50** Trasporto del materiale con l'ausilio dell'elicottero.

## **7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Il lavoro svolto ha messo in evidenza come l'intervento di sistemazione dell'asta torrentizia situata all'imbocco della Valle delle Berarde con tecniche di Ingegneria Naturalistica, abbia portato ad un sostanziale arresto del dissesto nelle zone d'intervento.

Innanzitutto, è evidente come la stabilizzazione del torrente con briglie e salti di fondo, abbia ridotto drasticamente il trasporto solido diminuendo il rischio di nuove esondazioni, inoltre la vegetazione ha avuto un notevole sviluppo ; essa, nel corso degli anni, si prevede vada a sostituire la funzione svolta dalle opere, ovvero garantire la stabilità del torrente e della zona delle sorgenti a monte da cui ha avuto inizio il dissesto.

Per quanto riguarda il secondo intervento analizzato, ossia la sistemazione delle aree franose in località Mola, è da sottolineare che l'intervento è in fase di ultimazione e per questo motivo non si possono ancora trarre conclusioni sull'efficacia delle opere realizzate.

Sono state realizzate briglie e palificate in legname, questo perché è stata eseguita una sistemazione d'alveo e di versante, poiché non è sufficiente intervenire unicamente sul corso d'acqua o sui versanti, ma occorre agire simultaneamente su entrambi. Tra corso d'acqua e versante vi sono continue interazioni, essi si influenzano reciprocamente verso una situazione di equilibrio dinamico, se questo aspetto non venisse tenuto in considerazione non solo il dissesto proseguirebbe la sua evoluzione, ma anche le opere realizzate perderebbero rapidamente la loro efficacia. I versanti non sistemati infatti, riforniscono di materiale detritico i corsi d'acqua, determinandone variazioni di tipo morfologico, o provocando consistenti fenomeni di trasporto solido come avveniva nel caso in essere con il conseguente sovralluvionamento della strada posta a valle della zona in dissesto.

Negli interventi, inoltre, occorre prestare particolare attenzione alle zone maggiormente critiche costituite dalle zone di corona e quelle caratterizzate da una maggiore dinamica.

Proprio per questi motivi la sistemazione ha riguardato tutta l' area in dissesto, si è cercato di diminuire l'acclività dei versanti con la realizzazione di palificate a parete doppia ed il rimodellamento e scoronamento dell'intera area per poter creare una superficie regolare su cui la vegetazione erbacea ed arborea, si prevede, prenderà il sopravvento. Sono state realizzate opere anche per la regimazione delle acque superficiali attraverso la realizzazione di una trincea drenante con la funzione di allontanamento delle stesse.

In questo intervento si è resa necessaria una variante in corso d'opera, poiché si è capito che le opere progettate avrebbero rapidamente perso la loro efficacia non riuscendo a stabilizzare il versante.

Questo è stato possibile soprattutto perché i lavori svolti sono stati eseguiti dal Consorzio Forestale, che opera in economia diretta avvalendosi della manodopera specializzata dei propri operai; se ci si fosse avvalsi di un appalto pubblico, una variazione del progetto così importante non sarebbe stata possibile per motivi sia burocratici che economici.

Questo tirocinio, se pur con qualche difficoltà iniziale, è stato molto appassionante ed entusiasmante poiché mi ha permesso di avere un contatto diretto con i tecnici e gli operai che hanno realizzato queste opere. Inoltre ho avuto anche il privilegio di poter seguire tutte le fasi riguardanti la realizzazione dell'intervento inerente la sistemazione del versante in dissesto, credo che tutto questo sia stato molto interessante poiché all'aspetto teorico fornitomi dalle lezioni universitarie ho potuto associare un importantissimo aspetto pratico; con tutte le problematiche che ne

concernono in corso d'opera e che devono essere risolte in brevissimo tempo per non fermare la programmazione delle attività di cantiere.

Molto spesso, si pensa che l'intervento di sistemazione mediante le tecniche di Ingegneria Naturalistica si concluda con la costruzione delle opere; ma così non è poiché l'Ingegneria Naturalistica rispetto all'Ingegneria "classica" utilizza anche materiale vegetale, per questo sarebbe opportuno un periodico monitoraggio al fine di salvaguardare le opere stesse e mantenerle sempre efficienti in modo che svolgano sempre al meglio la funzione per cui sono state progettate e realizzate.

## **Bibliografia**

- ❖ *Bischetti G.B. Dispense del corso di Sistemazioni Idraulico Forestali. Università degli Studi di Milano. Facoltà di Agraria-Corso di Laurea in Valorizzazione e tutela dell'Ambiente e Territorio Montano. Anno Accademico 2013/2014.*
- ❖ *Bischetti G.B. Sistemazioni Idraulico Forestali: Indirizzi per gli interventi. Quaderni della ricerca n 116-giugno 2010 Regione Lombardia Agricoltura.*
- ❖ *Regione Piemonte, Interventi di sistemazione del territorio con tecniche di Ingegneria Naturalistica, Regione Piemonte 2003.*
- ❖ *Consorzio Forestale Alta Valle Camonica: Relazioni Tecniche e geologiche, 2013.*
- ❖ *Consorzio Forestale Valle Allione :Appunti Pratici di Ingegneria Naturalistica, 2009.*
- ❖ *Salsotto A., Dana M., "Dissesti torrenti e boschi", Regione Piemonte 1980.*

## **Ringraziamenti**

Un doveroso ringraziamento ai miei genitori, alle mie sorelle Emma e Stefania, ai miei nonni, a Ilaria e ai miei parenti, per avermi incoraggiato e spronato in questi anni di studio, anche nei periodi più difficili.

Un ringraziamento al Professore Gian Battista Bischetti dell'Università degli Studi di Milano che mi ha aiutato durante la stesura di questo elaborato; al Consorzio Forestale Alta Valle Camonica, in particolar modo al Dottor Mario Tevini e al Dottor Simone Salvadori che mi hanno seguito durante il periodo di tirocinio, e durante la stesura del presente elaborato.

Infine un particolare ringraziamento ai miei amici per il sostegno, la stima e la fondamentale presenza in questi anni di studio.

ALLEGATO:  
TAVOLA COMPARATIVA DELLE  
OPERE PROGETTATE (in grigio), E  
DELLE OPERE REALMENTE  
REALIZZATE (in giallo).

