

*RINGRAZIAMENTI*: sono molte le persone che ho avuto modo di incontrare nel percorso che mi ha condotto alla stesura di questo elaborato finale ed ognuna di queste mi ha trasmesso, con grande umiltà, nozioni, concetti e consigli estremamente utili per la mia futura carriera lavorativa.

Un ringraziamento particolare va dato:

-al Prof. Bischetti che, grazie alla professionalità e serietà con cui svolge il proprio lavoro, mi ha trasmesso i concetti fondamentali della materia che sono risultati indispensabili per la prosecuzione della mia carriera universitaria.

-al Dott. Stolfini, comandante del Corpo Forestale dello Stato, Stazione di Brescia, poiché mi ha consentito l'accesso ai documenti dell'archivio di stato dimostrando, fin dall'inizio, grande disponibilità e cortesia;

-al Dott. Temponi poiché si è dimostrato un prezioso e valido tutor aziendale che mi ha fornito, con costanza e professionalità, strumenti, informazioni e valutazioni estremamente utili per la piena comprensione del progetto che mi è stato affidato;

-allo Studio Conti, in particolare al Dott. Antonio che mi ha gentilmente fornito documentazione ed immagini inerenti il precedente intervento;

1.	INTRODUZIONE.....	4
2.	IL DISSESTO IDROGEOLOGICO NEI BACINI MONTANI. ....	5
2.1.	Erosione superficiale.....	5
2.2.	Movimento di massa.....	6
2.3.	Fenomeni d'alveo.....	8
3.	LE SISTEMAZIONI IDRAULICO FORESTALI .....	12
3.1.	Definizione di sistemazioni idraulico forestali .....	12
3.2.	Obiettivi e funzioni delle sistemazioni idraulico forestali. ....	13
3.3.	Criteri di sistemazione dei torrenti .....	13
3.3.1.	Sistemazione dei tratti in erosione .....	13
3.3.2.	Sistemazione dei tratti in trasporto o deposito.....	14
3.4.	Opere di sistemazione idraulico forestale.....	15
3.4.1.	Briglie .....	16
3.4.2.	Muri .....	18
3.4.3.	Rivestimenti spondali .....	18
3.4.4.	Cunettoni .....	18
3.5.	Rapporto tra scenario territoriale e SIF .....	19
3.5.1.	Evoluzione dello scenario territoriale nel tempo. ....	19
3.5.2.	Evoluzione delle SIF .....	19
4.	IL CASO DELLA VAL BERTONE .....	21
4.1.	Caratteristiche dell'area.....	21
4.1.1.	Inquadramento geografico.....	21
4.1.2.	Uso del suolo .....	22
4.1.3.	Inquadramento geologico-strutturale.....	25
4.1.4.	Inquadramento geomorfologico .....	27
4.1.5.	Dati morfometrici di bacino.....	27
4.1.6.	Idrologia.....	28
4.1.6.1.	Analisi pluviometrica .....	28
4.1.6.2.	Calcolo della portata massima di piena.....	29
4.1.6.3.	Considerazioni riassuntive.....	31
4.1.7.	Calcolo della magnitudo di una colata .....	32
4.1.8.	Determinazione della pendenza di compensazione.....	33
4.2.	Analisi dell'evoluzione del problema dagli anni '30 ad oggi.....	34
4.2.1.	Gli interventi nel nuovo millennio .....	47
4.3.	Dissesti in atto.....	51

4.4.	Tecniche di intervento in progetto .....	52
4.4.1.	Realizzazione di una nuova balzata .....	52
4.4.2.	Realizzazione del sistema di rivestimento antiersivo .....	57
4.4.3.	Opere di mitigazione ambientale .....	60
4.4.4.	Cenni sulle modalità di accesso al cantiere. ....	61
4.5.	Considerazioni finali.....	61
4.6.	Possibili alternative di intervento.....	66
5.	BIBLIOGRAFIA.....	68

## 1. INTRODUZIONE

La difesa del suolo rappresenta un elemento fondamentale per la salvaguardia degli insediamenti umani, per la difesa del territorio agro-silvo-pastorale e per la conservazione dell'ambiente, inoltre essa rappresenta un elemento tanto più prioritario quanto più stretta è la relazione tra i processi di degradazione fisica del suolo e le attività umane.

Le porzioni montane di Lombardia sono in larga parte considerate a rischio idrogeologico e quindi necessitano di un'azione di difesa con stanziamento di ingenti investimenti per scongiurare fenomeni di dissesto di varia natura. In particolare, le norme forestali della regione Lombardia, al fine di sottolineare ancora una volta l'importanza della gestione delle aree coperte da vegetazione arborea nella più ampia azione di difesa del suolo, introducono i Piani di Indirizzo Forestale con valenza di Piano di Settore nell'ambito delle programmazioni territoriali provinciali; in quest'ultime, oltre ai temi più tipicamente selvicolturali trovano spazio le tematiche del Vincolo Idrogeologico e delle Sistemazioni Idraulico Forestali.

La necessità di intervenire sui territori montani per difenderli dai fenomeni di dissesto idrogeologico e per ridurre le conseguenze nelle zone di pianura è molto lontana nel tempo, ma negli ultimi anni in Lombardia come in buona parte d'Italia, la concezione della difesa dal dissesto idrogeologico dei territori montani sembra di fatto essere tornata quella di oltre un secolo fa, quando un gruppo di ingegneri del Genio Civile (Tornani et al., 1894) scriveva: "Fin dal tempo antico si sono eseguiti lavori di difesa del suolo lungo i torrenti, ma il carattere di essi era quello di pure difese locali nei punti più minacciati senza mai costruire un complesso di opere che ottenesse l'estinzione completa del torrente, cioè quello stato del suo regime in cui le acque scorrendo chiare e tranquille come in un ruscello, non arrecano più alcun danno alle sponde".

Le modalità di intervento descritte da Tornani non sono state finora seguite poichè, come messo in luce da Di Fidio e Bischetti (2007), in tutti i paesi dell'arco alpino la difesa del suolo in ambito montano si è sempre basata sulla combinazione tra l'approccio ingegneristico-strutturale (con interventi localizzati che fanno riferimento al campo prettamente idraulico) e l'approccio ingegneristico-biologico (con interventi che "mirano all'estinzione completa del torrente" che fanno riferimento al campo idraulico-forestale) con una chiara ripartizione delle competenze tra servizi tecnici differenti; l'uno sotto l'influenza culturale dell'ingegneria idraulica, l'altro sotto l'influenza culturale del mondo forestale. Così è stato anche in Italia fino ad alcuni decenni fa con la presenza del Genio Civile, sotto il controllo del Ministero dei Lavori Pubblici ed il Corpo Forestale dello Stato sotto il controllo del ministero dell'Agricoltura e delle Foreste.

Successivamente, numerose variazioni in merito ad assegnazione di competenze e potere di controllo e decisione hanno portato ad una situazione di incertezza decisionale. Molto spesso infatti, si procede al finanziamento di poche opere in difesa di singoli fenomeni senza una strategia di intervento su larga scala che vada all'origine del fenomeno stesso.

È quindi necessario invertire questa tendenza sviluppando una politica ambientale che finanzia studi rivolti all'analisi delle cause dei fenomeni di dissesto tali da garantire uno sviluppo di interventi poco puntuali, mirati alla risoluzione del problema nel suo complesso e che al contempo possa garantire maggior sicurezza a centri abitati e alle persone.

Negli ultimi anni, inoltre, sta emergendo una progressiva maturazione di una coscienza ambientale sulla necessità di recupero dei corsi d'acqua e con la conseguente approvazione di specifiche istanze nelle appropriate sedi istituzionali. Le novità legislative apportate hanno comportato l'adozione di nuovi strumenti di pianificazione in grado di rispondere alle recenti esigenze di tutela e salvaguardia dell'ambiente fluviale e all'introduzione di concetti di "rinaturazione" come interventi da eseguire per la salvaguardia dell'habitat stesso.

Nel presente lavoro viene preso in considerazione il caso della Val Bertone, oggetto di ripetuti interventi a partire dagli anni '30 fino agli anni '60 sotto il coordinamento del CFS per poi arrivare agli interventi svolti negli anni 2008 e 2010 sotto il diretto controllo della Comunità Montana di Valle Trompia.

In particolare, viene analizzato un progetto che prevede:

- 1) Realizzazione di una nuova balzata, per ottenere localmente un profilo di correzione non raggiunto con le sistemazioni precedenti;
- 2) Realizzazione di un sistema antierosivo atto a sanare intensi fenomeni di erosione superficiale ancora presenti su versante;
- 3) Rivestimento con pali di larice scortecciato sia delle opere precedentemente realizzate sia della balzata realizzata con quest'ultimo progetto.

Nel corso del tirocinio, che è stato svolto presso la Comunità Montana della Valtrompia, il progetto è stato seguito in ogni sua fase, dall'inizio lavori fino al completamento di tutte le opere previste, con visite in cantiere a cadenza settimanale ed in occasione delle più importanti fasi realizzative.

Ogni tecnica di intervento è stata analizzata e descritta partendo dai particolari costruttivi e modalità d'impiego fino ad arrivare all'opera finita, inserita nell'ambito di versante, consentendo in questo modo una piena comprensione dell'opera, delle sue caratteristiche, dei suoi pregi e dei suoi difetti e dei possibili alternativi campi d'impiego.

Al termine dei lavori è stata fatta una valutazione complessiva delle opere realizzate portando le problematiche riscontrate all'attenzione dell'ente appaltante.

## 2. IL DISSESTO IDROGEOLOGICO NEI BACINI MONTANI.

Il dissesto idrogeologico è un disordine difficilmente sanabile che coinvolge il terreno e le acque. Concettualmente 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 imponenti e gravi come le frane" (De Marchi 1967-69).

In ambito montano sono riscontrabili tre tipologie principali di dissesto idrogeologico: l'**erosione superficiale** (trasporto delle particelle di substrato in maniera isolata ad opera dell'azione dell'acqua), i **movimenti di massa** (frane o instabilità di versante) e i **fenomeni d'alveo**.

### 2.1. Erosione superficiale

L'erosione superficiale può essere definita come il processo di distacco e trasporto di particelle di suolo ad opera degli agenti erosivi rappresentati nel caso dell'erosione idrica dalla pioggia battente e dal deflusso superficiale.

L'erosione superficiale è influenzata da alcuni fattori critici come l'intensità delle piogge (che determina la capacità di erosione della precipitazione) e le caratteristiche del substrato (che governano l'infiltrazione dell'acqua nel terreno e la resistenza offerta da esso al distacco).

Come rappresentato dalla Figura 1 l'acqua piovana giunta sulla superficie terrestre, a seconda delle condizioni naturali e delle attività antropiche presenti, può infiltrarsi nel sottosuolo, evaporare direttamente, evapotraspirare attraverso le foglie delle piante oppure scorrere liberamente sulla superficie terrestre. Proprio quest'ultimo fenomeno, rappresenta il deflusso superficiale, a sua volta regolato dalla pendenza del suolo e dagli ostacoli (copertura vegetale, scabrosità del suolo) che l'acqua incontra lungo il proprio cammino, defluendo per gravità da monte verso valle.

Il processo erosivo può essere efficacemente controllato attraverso la vegetazione erbacea, arbustiva ed arborea. Per questo motivo nei bacini alpini e prealpini è un fenomeno piuttosto limitato ed osservabile solo in ambienti già degradati, privi di copertura vegetale oppure lungo le strade forestali e sentieri.

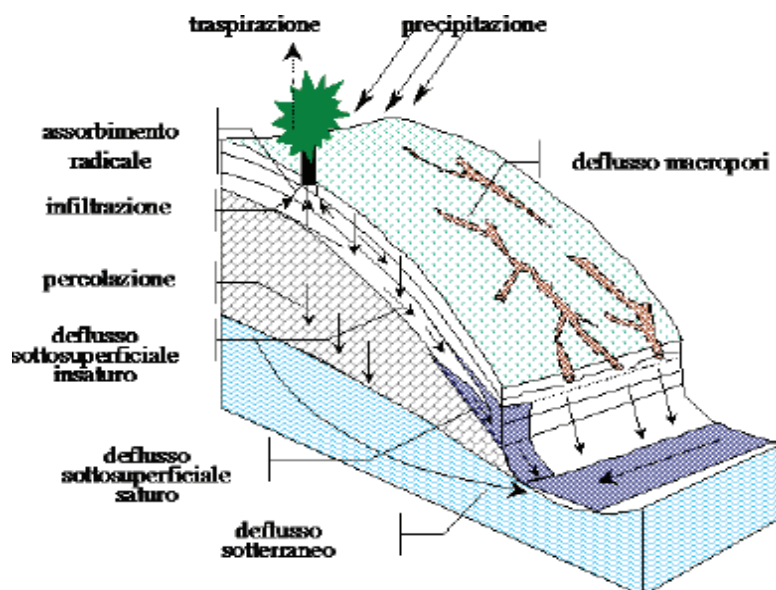


Figura 1. Ruolo dell'acqua nella formazione di deflusso. Autore: Bischetti, 2010.

## 2.2. Movimento di massa

È un fenomeno rappresentato da movimenti di materiale di varia natura (terreno, roccia) che viene distaccato e trasportato verso valle lungo le superfici di scorrimento sotto l'effetto della forza di gravità; quest'ultima è la forza che governa questi fenomeni mentre l'acqua funge da fattore predisponente e/o scatenante aumentando le tensioni di taglio o diminuendo le resistenze.

Per descrivere compiutamente i diversi fenomeni di dissesto che rientrano nella tipologia dei movimenti di massa esistono diverse classificazioni con caratteristiche specifiche; normalmente si utilizzano i seguenti criteri:

- Tipologia di materiale coinvolto (neve, ghiaccio, roccia o suolo).
- Velocità di movimento: rapida (crolli, valanghe, colate), intermedia (frane di detrito, scorrimenti), lenta (soliflussi).
- Meccanismo: frane (movimenti di masse di roccia o suolo lungo superfici di scivolamento ben definite) crolli (caduta di masse di materiale coerente a contatto con materiali stabili), colate (flusso quasi viscoso in cui non si distingue una chiara superficie di scivolamento).

Nella maggioranza dei casi, studiosi e geologi italiani, utilizzano la classificazione introdotta da Varnes nel 1978 che distingue sei classi fondamentali di fenomeni:

- Crolli: rappresentati dal distacco, spesso improvviso, di una massa di materiale generalmente roccioso da una parete o da un pendio a forte inclinazione; la superficie di distacco è ben definita, successivamente la massa rocciosa procede per caduta libera o rotolamento.
- Ribaltamenti: rappresentati da movimenti che avvengono per rotazione verso l'esterno di una porzione del pendio a causa della forza di gravità e/o sollecitazioni esterne.
- Scivolamenti: fenomeni che si verificano per superamento della resistenza di taglio del materiale lungo una o più superfici oppure in corrispondenza di uno strato meno omogeneo e resistente. Si possono distinguere due tipologie di scivolamenti in base alla forma della superficie di scorrimento:
  - Movimento rotazionale: avviene in terreni o rocce dotati di coerenza e si sviluppa lungo una superficie generalmente concava che si evidenzia al momento della rottura del materiale. In altre parole il fenomeno si manifesta in versanti costituiti da suoli coesivi omogenei in cui la coesione

porta il materiale a scivolare su superfici di rottura di tipo concavo (Figura 2), assimilabili ad un arco di circonferenza.

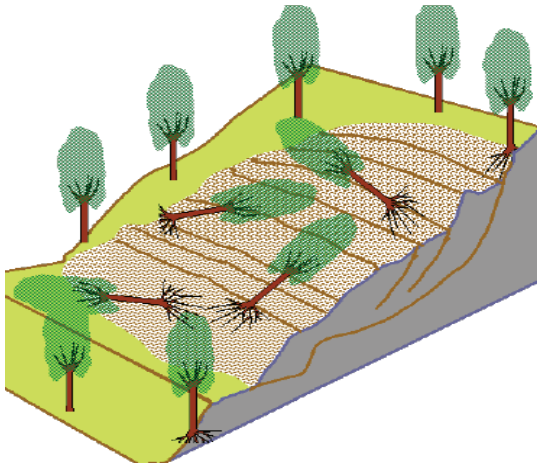


Figura 2. Porzione di versante con movimento rotazionale. Autore: Bischetti, 2010.

- Movimento traslazionale: presenta superfici di scivolamento pressoché piane (Figura 3), che si verificano in corrispondenza di una discontinuità nel substrato. Il fenomeno si manifesta in versanti dove vi sono influenze di tipo geologico interessando profondità rilevanti (decine di metri) o più frequentemente su versanti boscati con coperture colluviali di modesta profondità (pochi metri).

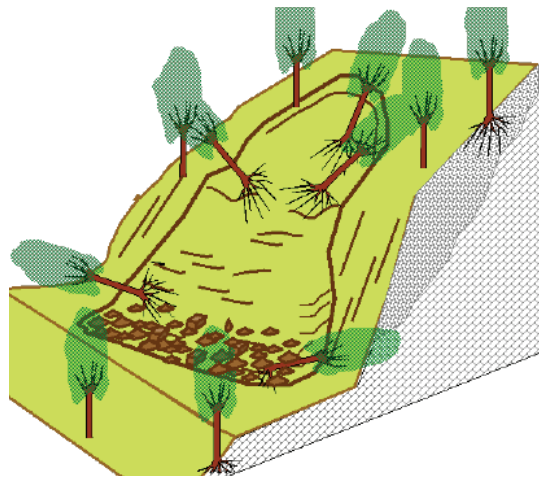


Figura 3. Porzione di versante con movimento traslazionale Autore: Bischetti, 2010.

- Espansioni laterali: fenomeni innescati prevalentemente quando una massa rocciosa fratturata è a stretto contatto con una roccia dal comportamento molto plastico che, con l'azione delle piogge, si espande provocando il movimento della roccia confinante.
- Colate: rappresentate da un flusso viscoso in cui non si distingue una superficie di scivolamento (Figura 4 e 5); questi fenomeni avvengono prevalentemente in suoli saturi d'acqua in cui il materiale che compone il terreno determina le caratteristiche della colata.



Figure 4 e 5. Fenomeni di colata detritica a monte e di deposito su conoide a valle. Autore: Bischetti, 2010.

- Frane: rappresentate da movimenti di masse intatte di roccia e suolo che possono essere sia traslazionali che rotazionali.

### 2.3. Fenomeni d'alveo

I torrenti montani sono caratterizzati da un piccolo bacino contribuente, variabilità elevata delle portate, pendenza elevata e trasporto di materiale solido grossolano.

Questi scavano il proprio letto sul sedimento e modificano la sezione e la morfologia del fondo alla ricerca dell'equilibrio. È per questo motivo che la dinamica dell'alveo fluviale alluvionale manifesta processi di modellamento molto lenti indotti da un disequilibrio tra parametri che favoriscono l'erosione, come la portata liquida e la pendenza longitudinale del fondo, e le variabili che a questa si oppongono, come portata solida e dimensioni granulometriche dei sedimenti che compongono il letto, favorendo la deposizione di sedimenti.

Per valutare il principio che regola indistintamente la dinamica di un fiume risulta utile basare le proprie considerazioni sulla bilancia di Lane (Fig. 6,7,8) che rappresenta le tre situazioni che si possono verificare: erosione (Figura 6), deposito (Figura 7) ed equilibrio dinamico (Figura 8).



L'equazione di riferimento è:

$$QS = Q_s D_{50}$$

Dove:

- Q è la portata liquida formativa per il canale ( in  $m^3/s$  );
- S è la pendenza longitudinale del fondo del canale ( in  $m/m$  );
- $Q_s$  è il carico di materiale solido o portata solida per larghezza unitaria del canale ( in  $m^2/s$  ), questa variabile esprime l'alimentazione solida da monte, piuttosto che la capacità di trasporto che il corso d'acqua è in grado di sviluppare localmente;
- $D_{50}$  è la dimensione rappresentativa del materiale d'alveo ( in m ); il pedice indica che sottoponendo un campione di sedimenti ad una vagliatura, il  $D_{50}$  è la dimensione della maglia del setaccio che lascia passare il 50 % ( in peso o numero ) del campione.

L'equazione sopra citata è nota come bilancia di Lane poiché il prevalere di uno dei 2 prodotti che compaiono ai lati dell'equazione determina lo spostamento momentaneo del corso d'acqua verso uno stato di erosione ( $QS > Q_s D_{50}$ ) (Figura 6) o sedimentazione ( $QS < Q_s D_{50}$ ) (Figura 7).

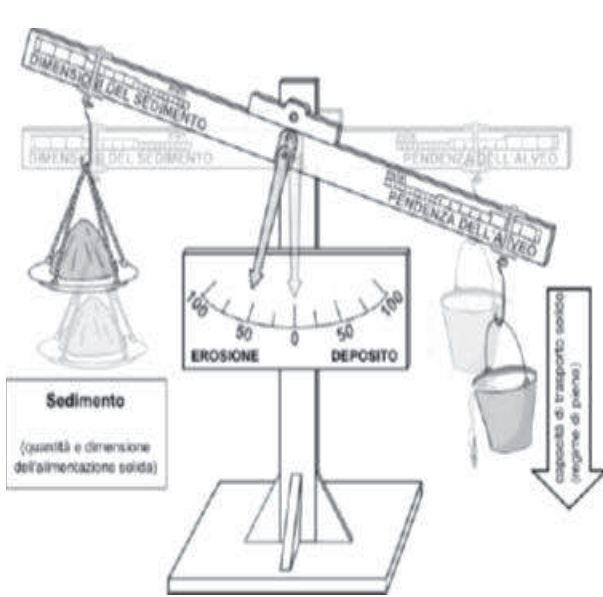


Figura 6. Bilancia di Lane in situazione di erosione. Autore: Quaderno della Ricerca della Regione Lombardia n. 116 del 2010, autori Bischetti, G.B. e D'Agostino, V.

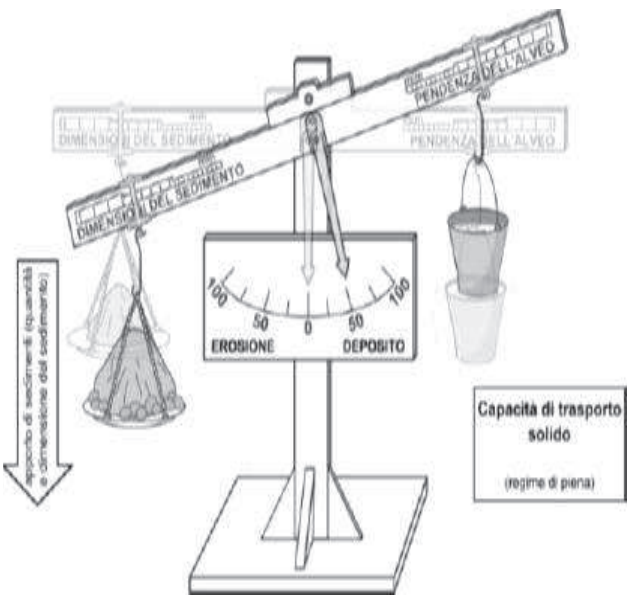


Figura 7. Bilancia di Lane in situazione di sedimentazione. Autore: Quaderno della Ricerca della Regione Lombardia n. 116 del 2010, autori Bischetti, G.B. e D'Agostino, V.

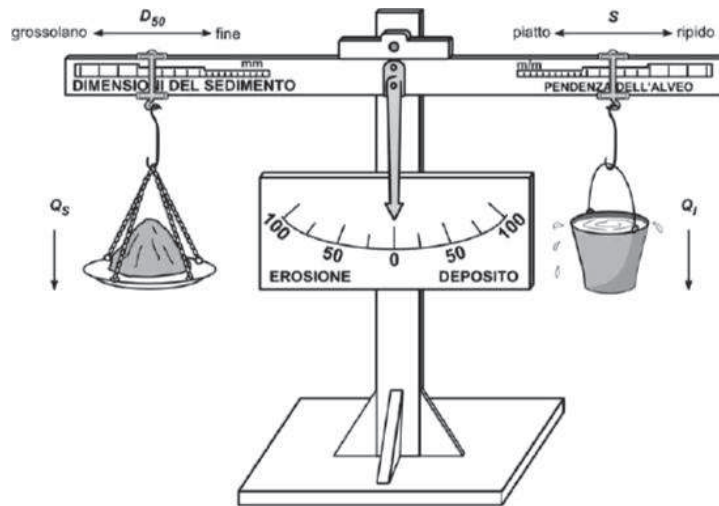


Figura 8. Bilancia di Lane in condizione di equilibrio dinamico. Autore: Quaderno della Ricerca della Regione Lombardia n. 116 del 2010, autori Bischetti, G.B. e D'Agostino, V.

Si possono verificare diverse tipologie di fenomeni d'alveo:

- Erosione del fondo: consiste nel progressivo approfondimento del letto con conseguente aumento della pendenza longitudinale del fondo stesso;



Figura 9. Torrente con accentuato fenomeno di erosione al fondo. Autore: Bischetti, 2010.

- Erosione al piede del versante: costituita dalla rimozione del supporto (piede) di versante causato dall'approfondimento del fondo di un corso d'acqua (Figura 10) o da erosione laterale di sponda con conseguente aumento delle tensioni di taglio sul versante e probabile franamento di una porzione di esso.



Figura 10. Situazione in cui il torrente erode continuamente al piede i versanti causandone un lento ma costante crollo.  
Autore: Bischetti, 2010.

- Erosione di sponda: il fenomeno consiste nella progressiva asportazione del materiale che costituisce le sponde con il conseguente cedimento delle stesse (Figura 11 e 12);



Figure 11 e 12. Fenomeni di erosione di sponda; la Figura 12 fa particolare riferimento al caso studio poiché descrive la zona in cui il Torrente Bertone si unisce al Torrente Garza.

- Deposito in alveo: all'opposto dei fenomeni di erosione si possono osservare i fenomeni di deposito di materiale precedentemente eroso in alveo nelle zone a monte o proveniente dai versanti (Figura 13 e 14). Il materiale depositato può avere conseguenze importanti in termini di variazione della sezione trasversale e della pendenza del fondo diminuendo inoltre la funzionalità delle opere di difesa del suolo.



Figure 13 e 14. Tratto del torrente Bertone sottoposto a sistemazione mediante briglie chiuse, realizzate dal CFS negli anni '60 che, fino a prima dell'attuale intervento di sistemazione, risultavano eccessivamente sovra-alluvionate.

### 3. LE SISTEMAZIONI IDRAULICO FORESTALI

#### 3.1. Definizione di sistemazioni idraulico forestali

Per sistemazioni idraulico forestali si intende l'insieme di opere a carattere idraulico e forestale atte a sanare situazioni di dissesto idrogeologico che si verificano in bacino.

Secondo Puglisi (2006) " *L'obiettivo delle Sif è quello di garantire la stabilità dei versanti e dei corsi d'acqua montani e possono essere definite come una disciplina trasversale, che studia le opere, le regole per progettarle ed il modo di impiegarle per contrastare le inondazioni, i processi erosivi e franosi, le colate detritiche e fangose, il distacco di massi e la caduta di valanghe che avvengono nei bacini torrentizi. Questa materia indaga altresì i criteri di ricostruzione morfologica degli alvei e le condizioni per il ritorno della vegetazione spontanea, e promuove l'impiego, ove compatibile con l'entità e la natura del dissesto idrogeologico da fronteggiare, di tecniche costruttive a basso impatto ambientale.*"

Tra le opere di sistemazione idraulico forestale ne possiamo distinguere due tipologie:

- Opere intensive: regolano la portata ed il trasporto solido; in genere consistono in interventi localizzati in alveo;
- Opere estensive: hanno lo scopo di arrestare all'origine la produzione di sedimenti ed il distacco di frane, colate, massi, valanghe; consistono in interventi diffusi o distribuiti sui versanti dell'intero bacino torrentizio.

### 3.2. Obiettivi e funzioni delle sistemazioni idraulico forestali.

L'obiettivo centrale delle sistemazioni idrauliche forestali è quello di ristabilire l'equilibrio ed il riordino dei bacini dissestati attraverso il consolidamento dei versanti e delle aste torrentizie, ottenendo i seguenti risultati:

- Conservazione dei territori montani da fenomeni di dissesto accelerato;
- Salvaguardia degli insediamenti e delle attività produttive a valle da esondazioni, franamenti e valanghe;
- Riduzione dei colmi di piena attraverso la riduzione della torrenzialità tipica dei bacini dissestati e denudati;
- Riduzione del materiale solido trasportato in alveo attraverso il consolidamento dei versanti e degli alvei stessi, sia per quanto riguarda il fondo che le sponde;
- Consolidamento delle sponde e la correzione degli alvei in corrispondenza degli insediamenti.

Gli interventi comprendono opere sia di natura ingegneristica che biologica sia su versante che in alveo e devono essere realizzati tenendo conto dell'aspetto sia economico sia ambientale; per questo motivo l'intervento antropico dovrebbe inserirsi nell'ambiente fluviale o di versante senza sconvolgerne l'equilibrio dinamico raggiunto e in ogni caso avendo riguardo per gli altri elementi dell'ecosistema.

A livello normativo viene indicato di utilizzare, ovunque siano compatibili, tecniche di ingegneria naturalistica che pur perseguendo sempre l'obiettivo tecnico della messa in sicurezza, si pone anche quello di ridurre gli impatti anche se ciò non è sempre possibile.

A dimostrazione di quanto sopra detto è possibile osservare che un moderno approccio alla sistemazione dei corsi d'acqua montani, supportato dalle più recenti conoscenze scientifiche, si basa sui seguenti punti:

- ✓ Studiare l'assetto morfologico del collettore prima di ogni intervento ed analizzare la dinamica di trasporto dei sedimenti a scala di bacino.
- ✓ Cercare di far convivere sicurezza idraulica, gestione della vegetazione, gestione dei sedimenti; tale indirizzo si può ottenere:
  - Preservando i processi idraulici e sedimentologici dove sono già equilibrati;
  - Ripristinando gradualmente l'equilibrio geomorfologico ove questo non esista;
  - Ripristinando la geometria naturale dell'alveo;
  - Favorendo il ripristino della vegetazione riparia.

A questa filosofia d'intervento si accompagna il convincimento che non sia né possibile né opportuno ricercare una "sistemazione definitiva e stabile" del torrente (obiettivo comunque utopico) ma che sia invece più utile tendere ad una *rinaturalizzazione* del corso d'acqua. Questo approccio si concretizza in un insieme di azioni e tecniche finalizzate a stabilire, per il corso d'acqua e per il territorio ad esso connesso, la condizione di massima naturalità possibile, cioè quella in grado di espletare le sue caratteristiche funzioni ecosistemiche garantendo così anche il raggiungimento degli obiettivi socio-economici.

L'orientamento attuale della disciplina, nella ricerca di un'armonia degli interventi con l'ecosistema montano, prevede l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica, di criteri di ricostruzione morfologica compatibili con la tendenza dei corsi d'acqua a raggiungere una stabilità plano-altimetrica, ed infine, l'utilizzo di materiali (gabbioni, massi legati, massi sciolti) che facilitano l'inserimento ambientale delle opere.

### 3.3. Criteri di sistemazione dei torrenti

#### 3.3.1. Sistemazione dei tratti in erosione

La bilancia di Lane ci offre concettualmente la migliore strategia di intervento per riportare i tratti in erosione in equilibrio dinamico.

La tendenza all'erosione di fondo è spesso legata ad un eccesso di pendenza e/o di portata, ad una carenza di alimentazione solida da monte oppure da un'asportazione del materiale che funge da corazzamento del fondo.

Solitamente per la correzione di tali fenomeni erosivi si interviene in alveo attraverso una variazione della sua pendenza (Figura 15), creando un profilo a gradonata con l'ausilio di opere trasversali come briglie e soglie oppure corazzando il fondo e rendendo le sponde meno erodibili.

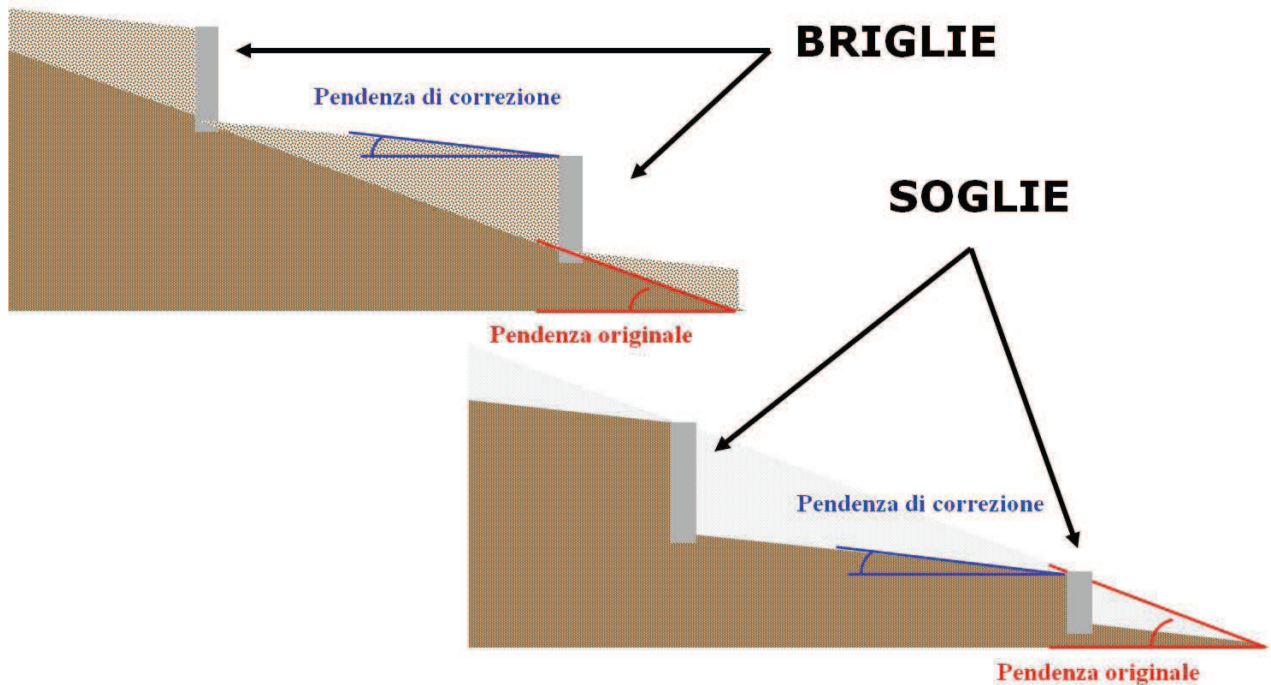


Figura 15. Rappresentazione della relazione tra pendenza di correzione e originale. Autore: Bischetti, 2010.

A questo proposito occorre sottolineare che una sistemazione con briglie a gradinata realizzata in modo da creare una pendenza di correzione troppo contenuta, riduce eccessivamente l'alimentazione solida a valle. Si creano nel lungo periodo accumuli eccessivi di sedimento che sovra-alluvionano le opere e che potrebbero essere fluitati impulsivamente a valle in occasione di piene ordinarie.

Nella progettazione di opere trasversali in sequenza come briglie, soglie, step pool è indispensabile stimare correttamente la pendenza di correzione; essa deve essere il giusto compromesso tra l'esigenza di contenere le portate solide verso valle e l'opportunità di garantire un'adeguata dinamicità dell'alveo. In ogni caso, una sistemazione idraulico-forestale è stata realizzata nel migliore dei modi se è stata in grado di seguire l'evoluzione del corso d'acqua rispondendo inoltre a requisiti di compatibilità ambientale, funzionalità ed efficienza nel medio-lungo periodo.

### 3.3.2. Sistemazione dei tratti in trasporto o deposito

Anche per i tratti di trasporto è la bilancia di Lane a suggerire la strategia da adottare per il loro riequilibrio; tale situazione è legata ad un eccesso di alimentazione solida o ad una carenza di capacità di trasporto della corrente. Tipica in questo senso è la situazione del tratto d'alveo in apice al conoide al quale, da una parte compete in ingresso una portata solida proveniente dal tratto di torrente più a monte che è caratterizzato da una maggiore pendenza energetica, dall'altra vi è una capacità di trasporto locale che invece è relativa alla pendenza del conoide più contenuta. I conoidi montani sono quindi intrinsecamente dei tratti di trasporto ed il pericolo di sovralluvionamento solido cui essi sono soggetti, è direttamente proporzionale al cambio di pendenza del fondo (monte-valle-apice) e al tasso di rifornimento solido che è determinato dalle aree sorgenti del bacino che alimentano il canale principale.

Altri tratti di trasporto si possono inoltre venire a creare a monte del conoide:

- a seguito di grossi dissesti e frane superficiali in corrispondenza dei versanti attigui al canale principale;
- in concomitanza di forti allargamenti trasversali della sezione di deflusso, spesso favoriti da condizionamenti geologici e/o tettonici (affioramento di una soglia morfologica rocciosa che favorisce la formazione di valli sospese a debole pendenza).

Gli interventi di sistemazione sono spesso indirizzati a ridurre la quantità di materiale solido che perviene alla parte terminale di bacino, specie se questa parte è abitata oppure è interessata da attività antropiche. Si agisce innanzitutto, in modo attivo sulle fonti stesse di produzione del sedimento (sistemazione dei versanti e dei tratti in erosione), secondariamente si mira a trattenere il materiale solido e quello fluitato nei tratti a monte.

Nei tratti molto urbanizzati che lasciano poco spazio al canale, dopo che si è cercato di ridurre l'apporto solido da monte, si può ancora intervenire incrementando la capacità di trasporto della corrente con opere di canalizzazione che si prefiggono di migliorare la capacità di smaltimento del trasporto solido residuo massimizzando le tensioni tangenziali lungo il contorno.

### 3.4. Opere di sistemazione idraulico forestale.

È possibile suddividere le opere di sistemazione idraulico forestale di un'asta torrentizia in due categorie (cfr La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro 2002)(Figura 16):

- Opere trasversali: sono opere che vengono inserite nella sezione trasversale del corso d'acqua e quindi in disposizione normale rispetto alla direzione principale della corrente fluviale; opere trasversali sono : soglie, briglie e rampe.
- Opere longitudinali: sono opere che vengono disposte lungo la sponda fluviale a sua protezione; esempi di opere longitudinali sono i rivestimenti spondali con massi o vegetazione, i muri di sponda ed i cunettoni.

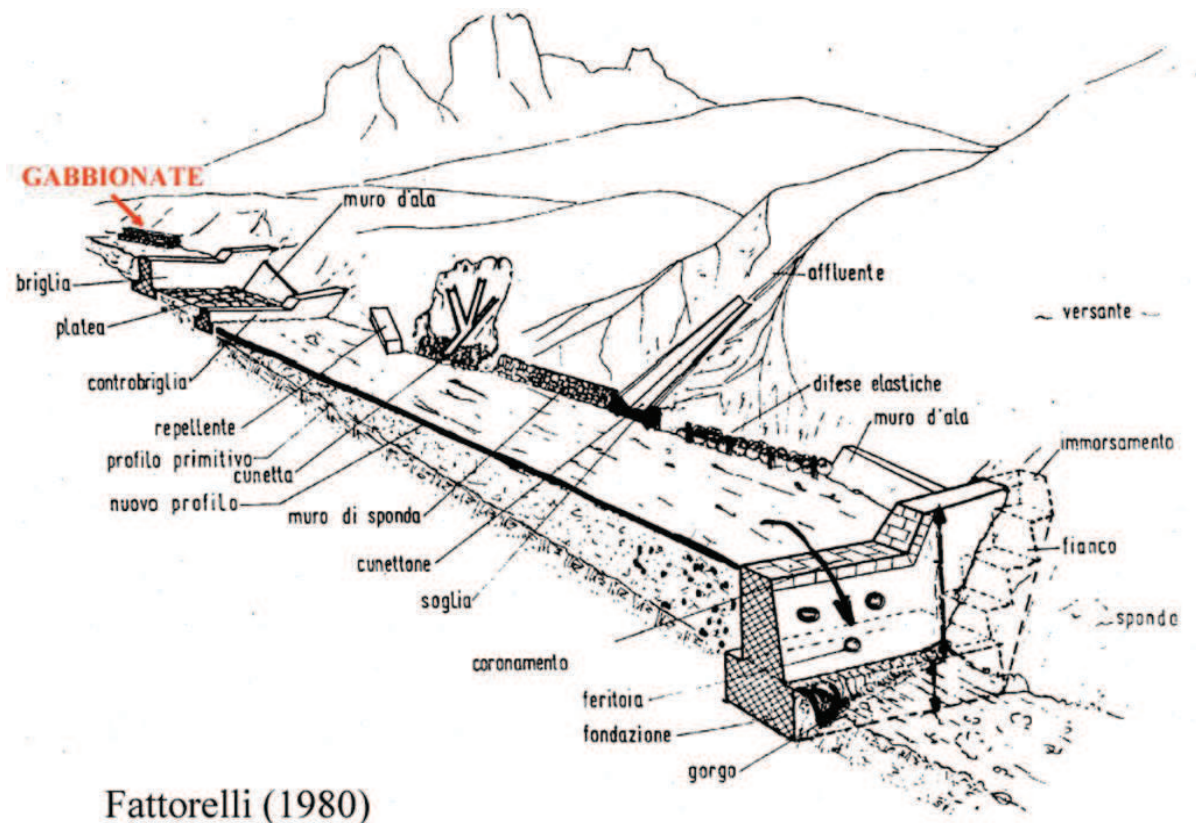


Figura 16. Rappresentazione delle possibili opere di sistemazione idraulico torrentizia. Autore: Fattorelli, 1980.

### 3.4.1. Briglie

La correzione del tratto montano di un torrente si attua, principalmente, con l'introduzione in alveo di opere trasversali denominate, appunto, briglie.

Nei torrenti di *trasporto* la loro funzione è quella di consentire la formazione, a monte di esse, di piazze di deposito in cui la corrente, rallentando, deposita parte del materiale trasportato; per questo motivo, questa tipologia di briglie è denominata *Briglia di trattenuta*. Le briglie, inoltre, svolgono la funzione di intervenire con il deflusso ed il trasporto solido in modo da intercettare (parzialmente o completamente) i sedimenti, di laminare le portate ed il materiale fluitato, di far depositare in maniera selettiva (se aperte) il materiale solido veicolato dalla corrente lasciando passare solo una determinata frazione granulometrica. In particolare la sedimentazione del materiale è influenzata dalla riduzione della tensione di trascinamento creata dall'opera che determina un profilo di rigurgito con passaggio dalla condizione di corrente rapida (che si manifesta nel tratto di torrente non influenzato dalla presenza dell'opera) a quella di corrente lenta (che si manifesta nel tratto di torrente che risente dell'influenza dell'opera) con conseguente riduzione della pendenza motrice.

Nei torrenti di *scavo*, invece, le briglie determinano una riduzione della pendenza per innalzamento del fondo d'alveo, riducono o arrestano l'erosione del fondo d'alveo stesso e consolidano il piede dei versanti. In questo caso le briglie vengono denominate briglie di *consolidamento* e la conseguente sistemazione viene detta a gradinata.

È possibile individuare due tipi di briglie:

- Briglie a corpo pieno rappresentate da opere il cui obiettivo è ridurre la pendenza (torrenti di scavo) oppure formare invasi in cui si verifichi la decantazione di quasi tutta la portata solida in arrivo da monte e che, altrimenti, tenderebbe a sedimentare più a valle, generalmente nei tratti dell'asta torrentizia caratterizzati da una minor pendenza del fondo (torrenti di trasporto). Queste opere vengono in genere dimensionate e realizzate in modo da poter contenere il maggior volume di materiale depositato ma è importante valutare molto bene l'entità volumetrica del deposito poiché, un'eccessiva riduzione della portata solida nei tronchi di torrente a valle dell'opera, innesca fenomeni erosivi in corrispondenza delle sponde e dell'alveo.

Le briglie a corpo pieno presentano le seguenti problematiche:

- ✓ Arresto indiscriminato di tutto il materiale solido trasportato dalla corrente;
  - ✓ Efficacia limitata ad un periodo di tempo ridotto poiché quando il volume d'invaso è completamente occupato da sedimento la funzione di trattenuta di materiale solido fluitato viene a cessare ed è quindi indispensabile programmare un intervento periodico di pulizia e sistemazione dell'invaso.
- Briglie aperte sono opere rappresentate da un corpo con un'apertura centrale nella quale viene alloggiato un filtro avente la funzione di operare una selezione granulometrica del materiale trasportato dalla corrente. La modalità di funzionamento di questa tipologia di briglie assume una ben definita valenza ambientale poiché l'arresto selettivo di materiale solido fluitato migliora l'efficacia della sistemazione stessa e soprattutto evita l'insorgenza di problemi di erosione lungo il tratto a valle dell'opera. Infatti la possibilità di convogliare verso valle il materiale di piccole e medie dimensioni evita l'erosione al fondo dell'alveo a valle del manufatto e consente di contribuire al mantenimento dell'equilibrio dinamico del corso d'acqua che, nel tratto vallivo, risulterebbe altrimenti caratterizzato dall'aumento della capacità di trasporto della corrente.

Con l'adozione delle briglie aperte, inoltre, durante il periodo di morbida, la corrente fluviale in funzione della sua capacità di erosione e trasporto, può essere in grado di rimuovere parte del materiale solido depositato durante la piena convogliandolo a valle e ripristinare, a monte della briglia, una zona di deposito evidenziando in questo modo, la peculiarità delle briglie aperte cioè la capacità di auto pulizia.

La capacità dell'opera di esplicitare una selezione del materiale trattenuto massimizza l'efficacia dell'attività sistematoria in occasione degli eventi di piena poiché, la capacità d'invaso a monte della briglia rimane completamente disponibile solamente per l'accumulo di materiale grossolano o legnoso che, se fluitato dalla corrente a valle potrebbe provocare danni ingenti (Figura 17).





Figura 17. Materiale fluitato trattenuto da una briglia selettiva. Autore: Quaderni della Ricerca della Regione Lombardia n. 116- giugno 2010.

Il funzionamento di queste opere si basa sul dimensionamento delle aperture (Figura 18 e 19), eseguito in modo da modificare le tensioni al fine di ridurre la portata solida in uscita contemporaneamente ad una selezione granulometrica; per far sì che ciò accada il livello del pelo libero della corrente deve innalzarsi sopra la soglia di coronamento, in modo da formare un rigurgito a monte che rallenta la corrente e favorisce la sedimentazione dei materiali di dimensione medio-grossa. Una volta passata la piena, la corrente a regime ordinario, riesce a convogliare a valle attraverso le aperture i materiali medio-piccoli lasciando sul posto solo quelli di dimensioni maggiori.



Figure 18 e 19. Esempio di briglia filtrante con particolare propensione alla laminazione di un Debris Flow. Autore: Quaderni della Ricerca della Regione Lombardia n. 116- giugno 2010.

Le suddette opere hanno un numero notevole di aspetti positivi che le caratterizzano:

- Consentono la laminazione della portata solida veicolata a valle del manufatto che altrimenti, in concomitanza di un evento alluvionale, potrebbe provocare gravi danni.
- Hanno una maggiore durata funzionale poiché il volume disponibile per l'accumulo si esaurisce meno rapidamente grazie alla presenza del filtro che consente, il passaggio di materiale medio-fine che quindi, non sosta definitivamente a monte dell'opera.

### 3.4.2. Muri

I muri sono strutture che consentono l'irrigidimento di una sponda fluviale o la ricostruzione di una curva fluviale; sono opere con spiccata variabilità nella riuscita del loro inserimento ambientale e subiscono gravi danni da aggiramento e scalzamento al piede ad opera della corrente.

### 3.4.3. Rivestimenti spondali

I rivestimenti spondali consentono l'utilizzo di materiale eco-compatibile come massi (Figure 20 e 21) e vegetazione per la loro realizzazione favorendo in questo modo il loro inserimento ambientale.

Anche queste opere come i muri subiscono gravi danni da fenomeni di scalzamento al piede ad opera della corrente diminuendo drasticamente, in questo modo, il tempo di impiego ed efficienza.

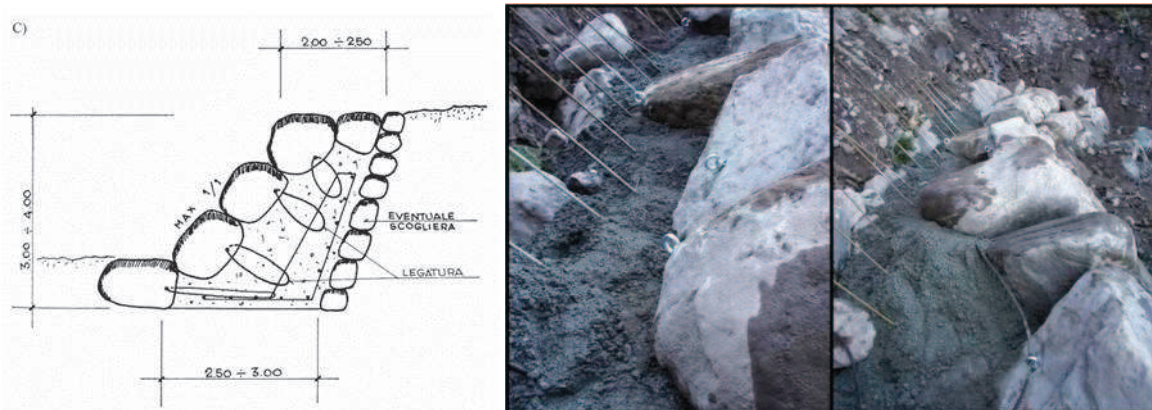


Figure 20 e 21. Esempio di struttura in massi con scheletro in calcestruzzo debolmente armato. Autore: Lenzi et al., 2000 .

### 3.4.4. Cunettoni

Sono opere che trovano applicazione generalmente quando un corso d'acqua attraversa un centro abitato ed ha a sua disposizione poco spazio. I cunettoni sono generalmente caratterizzati da bassa scabrezza al fine di favorire il rapido deflusso della portata e scongiurare in questo modo ogni pericolo di esondazione.

Queste opere devono essere dimensionate per resistere a elevati sforzi tangenziali sul fondo e risultano inoltre molto utili nella protezione delle colate detritiche e vengono realizzate per far defluire correnti con elevate portate solide o per le colate di detriti.

## 3.5. Rapporto tra scenario territoriale e SIF

### 3.5.1. Evoluzione dello scenario territoriale nel tempo.

Il degrado fisico e biologico, che affligge la gran parte dei fiumi, ha innescato un processo quasi irreversibile di mutazione dello scenario territoriale, fenomeno che si affianca a dissesti che sempre più frequentemente avvengono lungo le reti idrografiche durante eventi di piena anche non straordinari che evidenziano ulteriormente come i danni, in genere, sono amplificati nella maggioranza dei casi dalla presenza di insediamenti ed attività antropiche

### 3.5.2. Evoluzione delle SIF

È importante affermare che negli ultimi decenni i fenomeni di dissesto idrogeologico non sono cambiati bensì sono mutate da una parte le tecniche, i materiali e le conoscenze mentre dall'altra sono variate le condizioni di esposizione al pericolo, a causa dell'estendersi degli interessi antropici verso zone sempre più remote. Le evoluzioni maggiori si sono avute grazie ai progressi tecnici in termini di capacità di movimentazione terra con escavatrici, disponibilità di calcestruzzo a costi accessibili e soprattutto introduzione di nuovi materiali.

Gli interventi sistematori realizzati nell'arco alpino alla fine degli anni '60 e '70 del secolo scorso si sono dimostrati degli efficaci sistemi per rimediare ai dissesti in atto ma, non sempre, questi interventi sono stati in grado di conciliare gli aspetti strettamente sistematori a quelli estetico-paesaggistici ed ecologici.

A partire dagli anni '80 si sono progressivamente diffuse soluzioni tecniche e costruttive atte a mitigare l'impatto ambientale dei vari interventi facendo prevalentemente ricorso a tecniche di ingegneria naturalistica ed interventi mirati alla "ricostruzione del corso d'acqua secondo criteri fluviomorfologici". Una ricostruzione secondo questi parametri, richiede un'analisi dettagliata del "sistema torrente", in modo da realizzare interventi il più possibile compatibili con la naturale configurazione del corso d'acqua.

In supporto a ciò che è stato finora detto, è utile riportare uno studio condotto dal Servizio Bacini Montani di Trento, che evidenzia come un primo salto tecnologico e di conoscenze si sia avuto tra la metà degli anni 60 del secolo scorso, con l'inizio della meccanizzazione dei cantieri e la metà degli anni '70, con l'introduzione su larga scala del calcestruzzo armato (Figura 22). Tale evoluzione ha portato ad un aumento degli impatti ambientali degli interventi di sistemazione.

A partire dalla metà degli anni '70 invece, il continuo progresso delle tecniche e delle conoscenze, hanno intensificato il ricorso alle tecniche di ingegneria naturalistica e all'uso dei massi ed il ricorso alle briglie selettive. Inoltre, le esperienze di ricostruzione morfologica degli alvei, hanno consentito di ridurre l'impatto ambientale degli interventi pur aumentandone l'efficacia. Mentre il primo salto tecnologico e conoscitivo è stato recepito in maniera omogenea sul territorio nazionale, altrettanto non si può dire per il secondo. Il risultato è assistere molto frequentemente ad interventi di "messa in sicurezza" di carattere strutturale e grande impatto ambientale, spesso a scala locale, senza che si riesca ad incidere sull'assetto complessivo del bacino, che sta all'origine del dissesto. L'esperienza trentina dimostra come l'evoluzione delle sistemazioni idraulico forestali non si ferma alle tecniche ed ai materiali ma, proprio sfruttando l'impostazione tradizionale di cerniera tra la cultura ingegneristica e quella biologica, si estende verso interventi a basso impatto ambientale, fino a fornire conoscenze e strumenti, per interventi che siano anche di vera e propria riqualificazione ambientale.

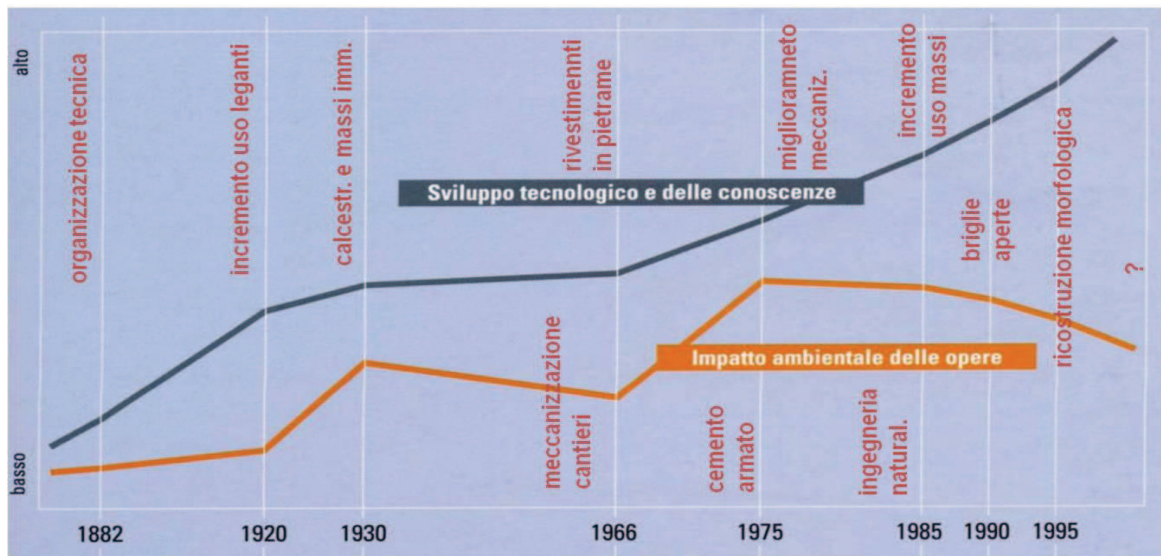


Figura 22. Evoluzione degli interventi di SIF ( PAT-SSM, 2002 mod. V. D'Agostino).

È altresì molto importante ricordare che, gli interventi di ingegneria naturalistica e ricostruzione fluviomorfologica, non sono sempre in grado di contrastare situazioni di forte dissesto. Per questo motivo non possono essere applicati in modo generalizzato a qualsiasi situazione, infatti in una situazione in cui deve essere garantito un adeguato livello di sicurezza come, ad esempio in prossimità di centri abitati e infrastrutture, è necessario ricorrere ad opere di sistemazione di tipo tradizionale che si rivelano elementi insostituibili nel contrastare le situazioni di torrenzialità più accentuate, come repentine incisioni d'alveo e colate detritiche.

Al giorno d'oggi gli interventi di SIF sono attuati mediante opere che devono dare un contributo fondamentale alla messa in sicurezza del territorio montano unitamente alla tutela e salvaguardia dell'ambiente.

I principi generali che stanno alla base di un intervento di Sif ben ponderato (Bischetti e D'Agostino, 2010) sono:

- ✓ Integralità degli interventi: gli interventi di sistemazione non devono essere concentrati a livello locale ma devono prendere in considerazione l'intero problema, come riferimento per l'analisi dei fenomeni in atto, per poi riuscire ad elaborare un intervento di risoluzione della problematica nel suo complesso. L'integralità dell'approccio sistematorio deve inoltre considerare anche interventi di tipo tecnico, selvicolturale e di ingegneria naturalistica con l'obiettivo di ottimizzare costi e benefici, garantendo all'opera un soddisfacente inserimento ambientale e paesaggistico.
- ✓ Gradualità degli interventi: le varie tipologie di opere devono essere realizzate in maniera progressiva e graduale, in modo da poterne osservare gli effetti e valutare l'evoluzione generale così da poter orientare al meglio gli interventi successivi fino a perseguire il completamento della sistemazione stessa.
- ✓ Continuità degli interventi: le opere devono garantire la loro funzionalità nel tempo. È quindi indispensabile programmare, per esse, mirati interventi di controllo, pulizia e manutenzione; è altresì importante promuovere la manutenzione dei versanti e del territorio circostante, con particolare interesse alla forestazione e regimazione della rete idrografica minore, per prevenire fenomeni erosivi e franosi anche di modeste dimensioni.

## 4. IL CASO DELLA VAL BERTONE

### 4.1. Caratteristiche dell'area

#### 4.1.1. Inquadramento geografico

Il Comune di Caino è situato in Provincia di Brescia. La figura 23 individua quest'ultima rispetto ad un contesto territoriale più ampio mentre dalla figura 24 è possibile localizzare il Comune di Caino rispetto ai comuni limitrofi.

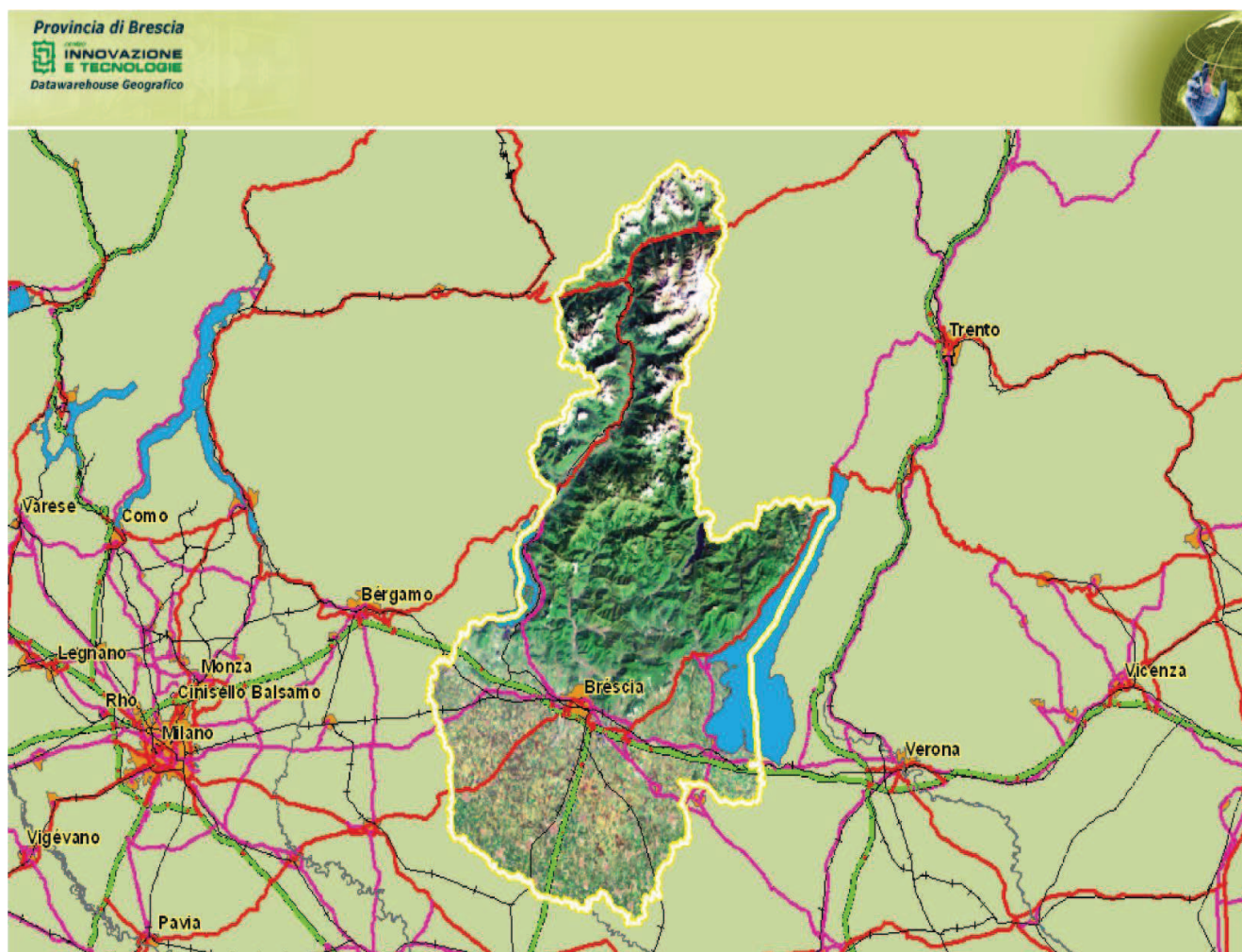


Figura 23. Provincia di Brescia inserita nel contesto territoriale che la circonda. Scala 1:900000 Autore: SIT Provincia di Brescia, 2011.

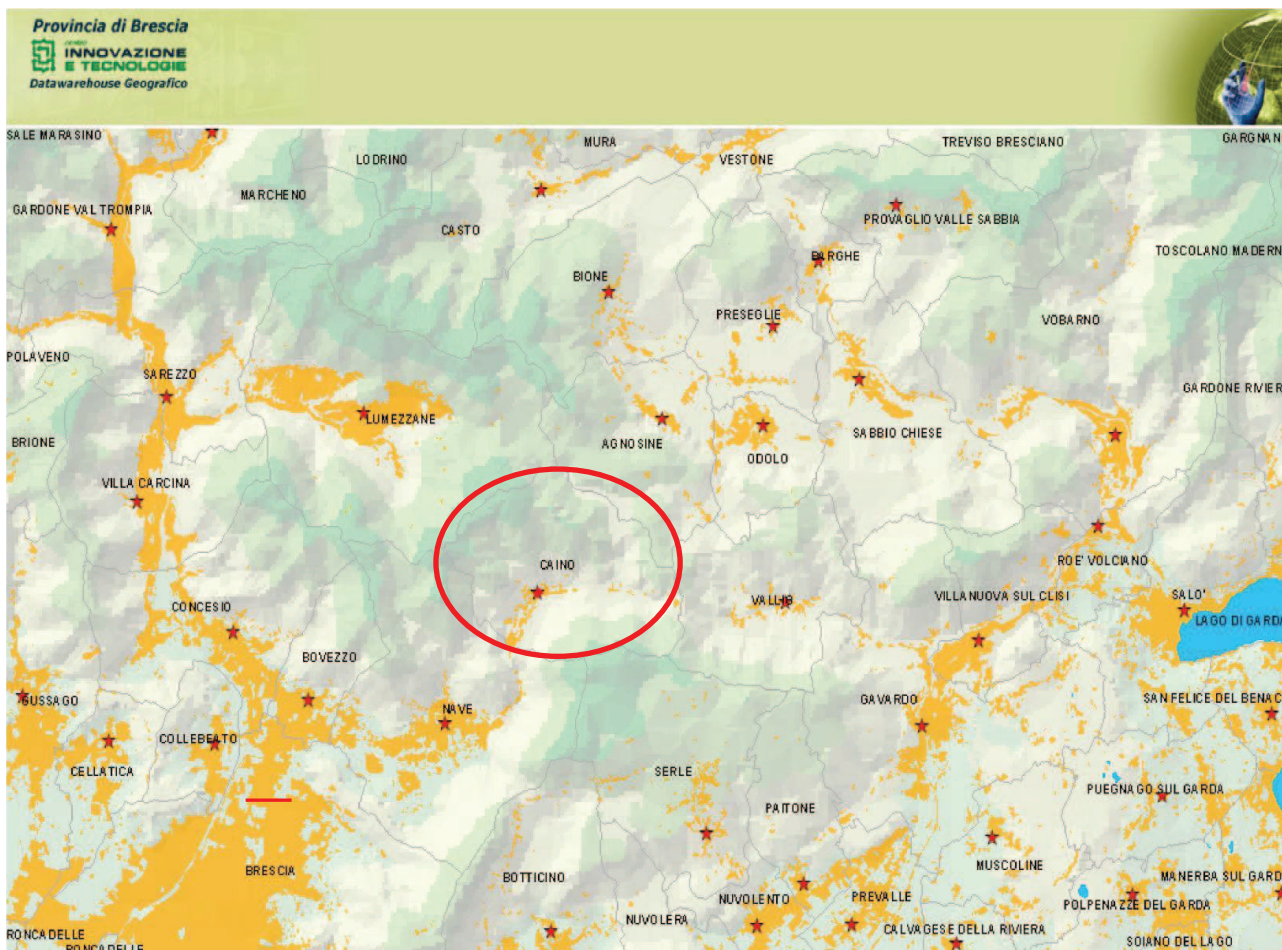


Figura 24. Azzonamento del Comune di Caino. Scala 1:120000 Autore: SIT Provincia di Brescia, 2011.

L'area in cui ricade il sito di interesse si colloca nel settore nord-orientale del territorio comunale di Caino (BS), più precisamente, in destra orografica del Torrente Garza.

#### 4.1.2. Uso del suolo

Per comprendere meglio le caratteristiche ambientali ed ecologiche della zona in esame e dell'ambiente più generale, oltre alle uscite in bosco ho esaminato la Carta di Uso del Suolo ( tavola riportata nella pagina successiva ) forniti dallo Studio Conti.



Dall'analisi della Carta di Uso del Suolo risulta una prevalenza di boschi e vegetazione naturale nella parte bassa dell'area di bacino, inoltre la zona soggetta ad intervento è classificata come area sterile. Nella parte alta dell'area di bacino oltre alla presenza di boschi e vegetazione naturale in porzioni uguali è presente anche una significativa superficie adibita a prati.

La Figura 25 descrive come viene inquadrata la porzione di territorio in cui è situata la zona in esame.

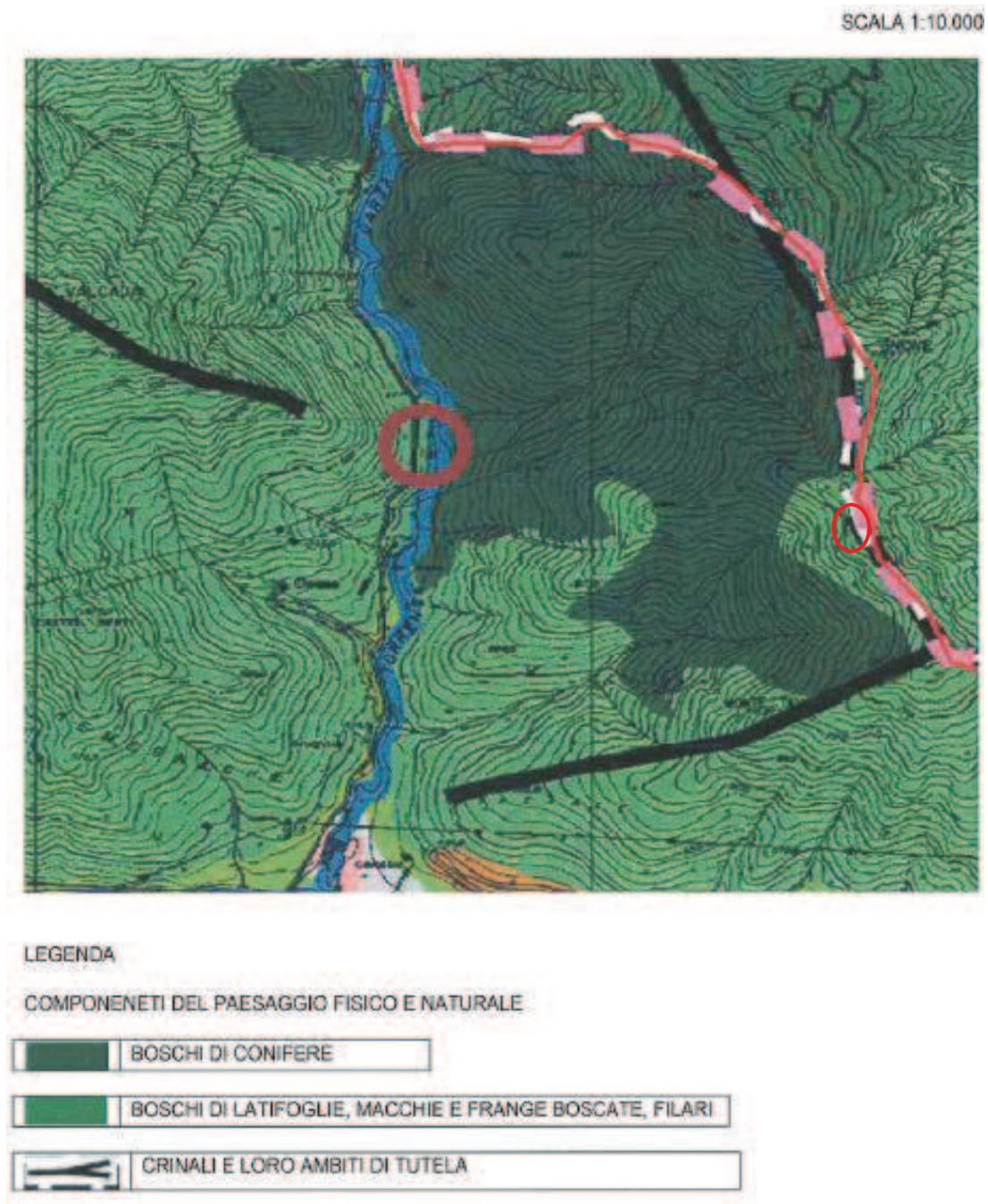


Figura 25. Porzione di territorio classificata in funzione delle componenti del paesaggio fisico e naturale. In rosso è evidenziata la zona soggetta ad intervento. Autore: Studio Conti, 2008.



### 4.1.3. Inquadramento geologico-strutturale

Secondo lo studio geologico effettuato dallo Studio Conti con sede a Maderno (BS) risulta che tra le unità litostratigrafiche del substrato roccioso è possibile evidenziare le seguenti 3 componenti: Dolomia Principale, Facies ad essa eteropiche ed Unità Quaternarie.

La Dolomia Principale si distingue in dolomia massiccia: poco diffusa e limitata ad isolati blocchi caratterizzata da un aspetto compatto e dall'assenza di stratificazione, dolomia a bancate: rappresentano l'aspetto più tipico della Formazione e sono caratterizzate da un colore chiaro e da stratificazione metrica ed infine dolomia a stratificazione media: caratterizzate da una stratificazione variabile che si attenua sulle superfici esposte da lungo tempo per effetto della degradazione meteorica.

Le Facies eteropiche rappresentano i termini più francamente bituminosi della Dolomia Principale; sono costituite in generale da dolomie, calcari dolomitici e calcari spesso bituminosi a stratificazione evidente di colore generalmente scuro. Si distinguono all'interno le cosiddette dolomie straterellate, tipiche della parte più alta della Formazione della Dolomia Principale, che sono caratterizzate da stratificazione sottile ed aspetto farinoso e granuloso ed hanno un colore generalmente tendente al nocciola. Le facies eteropiche della Dolomia Principale, inoltre, si presentano con modeste proprietà meccaniche dei materiali e tendono più facilmente ad alterarsi e a disgregarsi per degradazione chimica e fisica. Tipiche Facies della Dolomia Principale sono le cosiddette Dolomie Zonate con laminazioni di composizione carbonatica.

Per quanto riguarda le unità quaternarie si possono distinguere due tipi:

- Detriti di falda, deposito di versante e depositi eluvio-colluviali: si tratta di depositi gravitativi per lo più non stabilizzati, costituiti da elementi più o meno grossolani che si raccolgono soprattutto all'interno del bacino che costituisce il materiale principale per il trasporto solido.
- Depositi di conoide alluvionale: si rinvencono in prossimità della confluenza del Torrente Garza e constano di ghiaie e sabbie limose con ciottoli.

Per avere, sia una visione d'insieme sia una visione in dettaglio della zona di intervento, ho analizzato la Carta Geologica (tavola riportata nella pagina successiva) elaborata dallo Studio Conti.



L'analisi della Carta Geologica mi ha permesso di osservare che, la zona soggetta ad intervento, presenta nella parte bassa la Formazione della Dolomia Principale mentre nella parte alta presenta la Formazione delle Facies ad essa Eteropiche.

#### **4.1.4. Inquadramento geomorfologico**

L'area in esame è caratterizzata da morfologie aspre, con forme delle creste frastagliate, frequenti cucuzzoli isolati e veri e propri torrioni.

I versanti si presentano fortemente frastagliati, con pendenze elevate e pareti rocciose affioranti costituite dai litotipi della Dolomia più o meno alterati che tendono facilmente ad alterarsi e disgregarsi per degradazione fisica.

Sono presenti numerosi accumuli detritici in corrispondenza dei piedi delle pareti rocciose affioranti che si distinguono per pezzatura a seconda della litologia delle pareti sorgente; il substrato roccioso è in buona parte affiorante, con coltri detritiche poco specializzate poste soprattutto in corrispondenza dell'impluvio principale, che possono sempre essere coinvolte nel processo di riattivazione a causa delle forti pendenze dell'asta torrentizia e delle portate liquide eccezionali.

Il reticolo idrografico è poco sviluppato, con orientazione principale E-O, con corsi d'acqua secondari poco sviluppati. La maggior parte dell'area è interessata da una vegetazione tipicamente dolomitica con coperture boschive più o meno fitte, costituite da conifere miste e da latifoglie in minor misura, con presenza di vegetazione rupestre interessante le aree a substrato roccioso affiorante.

Sono frequenti sono le coperture a pascolo, soprattutto concentrate nelle aree a minor acclività e le vegetazioni rupestri interessanti le aree a substrato roccioso subaffiorante. È inoltre importante osservare che, nell'area del dissesto, la vegetazione è completamente assente, a dimostrazione dello stato di attività delle pareti di dolomia che fungono da sorgente e dei fenomeni di trasporto solido impulsivi e frequenti.

#### **4.1.5. Dati morfometrici di bacino**

Il Torrente Bertone rappresenta il corso d'acqua secondario del bacino idrografico del Torrente Garza e si estende per 0.016 Km<sup>2</sup> con quota massima di circa 628 m s.l.m. ed una quota minima di 479.4 m s.l.m. (confluenza con Torrente Garza) (Tabella 1).

Il suddetto Torrente rientra nella classificazione italiana come "torrente alpino" nel quale, si ha erosione nella parte superiore del bacino, successivo trasporto dei materiali erosi e loro deposizione nella zona inferiore. Le inclinazioni dei versanti sono di circa 40-45° nella parte alta mentre si riducono a 30-35° nella zona inferiore.

**Tabella 1. Dati morfometrici di bacino del Torrente Bertone (da Relazione Idrologica redatta dallo Studio Conti) :**

<b><u>Parametri</u></b>	<b><u>Simbolo</u></b>	<b><u>Unità di misura</u></b>	<b><u>Valore</u></b>
<b><u>Superficie</u></b>	<i>A</i>	<i>Km<sup>2</sup></i>	<i>0.016</i>
<b><u>Lunghezza dello spartiacque</u></b>	<i>P</i>	<i>Km</i>	<i>0.645645</i>
<b><u>Quota massima</u></b>	<i>Q max</i>	<i>m (s.l.m.)</i>	<i>628</i>
<b><u>Quota minima (all'apice del conoide)</u></b>	<i>Q min</i>	<i>m (s.l.m.)</i>	<i>479</i>
<b><u>Larghezza massima</u></b>	<i>La max</i>	<i>m</i>	<i>104</i>
<b><u>Lunghezza massima</u></b>	<i>Lu max</i>	<i>m</i>	<i>205.5</i>
<b><u>Altezza media</u></b>	<i>H m</i>	<i>m</i>	<i>533.7</i>
<b><u>Lunghezza dell'asta principale (misurata fino all'apice del conoide)</u></b>	<i>L</i>	<i>m</i>	<i>232.6</i>
<b><u>Pendenza media dell'asta principale</u></b>	<i>P</i>	<i>%</i>	<i>73.0</i>

Per quanto riguarda il conoide si è fatto riferimento alla zona di deposizione in corrispondenza della confluenza al Torrente Garza; va inoltre evidenziata l'estrema difficoltà riscontrata nella valutazione dei caratteri morfometrici, a causa dell'intenso grado di erosione del torrente principale che altera l'effettiva quantità di deposito a valle.

#### **4.1.6. Idrologia**

##### **4.1.6.1. Analisi pluviometrica**

L'analisi pluviometrica condotta dallo Studio Conti è stata elaborata attraverso le seguenti consultazioni:

- ✓ PAI : delibera n° 18 del 26/04/2001 norme di attuazione "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica- Tabella 1 Curve di possibilità pluviometrica nelle stazioni di misura";
- ✓ Raccolta dati pluviometrici e curve di possibilità climatica per confronto da dati della Provincia di Trento;
- ✓ Dati di bacino da archivio storico dell'Ufficio Idrografico;
- ✓ Dati da annali Energia Elettrica.

Le piene sono generalmente causate da rilevanti e prolungate piogge pertanto, le indagini da svolgersi al fine di definire una portata di massima piena, iniziano con il considerare le precipitazioni atmosferiche.

Le indagini sulle piogge intense sono dirette alla determinazione del legame che intercorre tra l'altezza della precipitazione, verificatasi in una data stazione pluviometrica, la sua durata, frequenza e probabilità con cui questo evento può verificarsi; dalle registrazioni pluviografiche vengono selezionati i valori di precipitazione per ogni anno del record a disposizione, agli intervalli di 1,3,6,12 e 24 ore.

Le rette di distribuzione si ottengono direttamente dalla Legge probabilistica di Gumbel, dalla quale, per interpolazione si ricava la curva di possibilità climatica connessa all'assegnato tempo di ritorno; le suddette curve vengono espresse analiticamente con la seguente espressione monomia:

$$h = a t^n$$

dove:

$h$  = altezza di pioggia in ( mm );

$t$  = durata dell'evento in ( h );

$a$  ,  $n$  = parametri caratteristici della curva, dipendenti dalle caratteristiche pluviometriche della zona in cui la stazione di misura è ubicata.

Per lo studio in oggetto, in assenza di dati statisticamente rappresentativi per l'area in esame, si sono esaminati i dati relativi alla stazione pluviografica di Salò (che si è comunque rivelata la stazione più sfavorevole dal punto di vista dei coefficienti delle curve di possibilità climatica) riportati:

- ✓ Nella tabella 1 PAI : delibera n°18 del 26/04/2001- norme di attuazione- " Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica";
- ✓ Nella tabella 1 " Curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura" contenute nello studio delle precipitazioni intense in provincia di Brescia e verifica funzionale della rete pluviometrica esistente ( 1985).

Sono stati adottati, in via conservativa, i coefficienti  $a$  e  $n$  forniti dalla situazione di Salò proposti dalla provincia di Brescia (Tabella 2) in quanto hanno dato valori di pioggia critica più elevati rispetto a quelli proposti dal PAI.

**Tabella 2 Assegnazione dei coefficienti  $a$  e  $n$  in funzione del Tempo di Ritorno (T) (da Relazione Idrologica redatta dallo Studio Conti):**

Salò	T 20 anni	T 50 anni	T 60 anni	T 100 anni	T 200 anni
PAI (2001)	$a = 46.17$ $n = 0.325$			$a = 59.55$ $n = 0.317$	$a = 65.27$ $n = 0.315$
Prov. BS (1985)		$a = 59.10$ $n = 0.2595$		$a = 66.13$ $n = 0.2515$	$a = 73.15$ $n = 0.2450$

#### 4.1.6.2. Calcolo della portata massima di piena

La formazione delle piene in qualsiasi rete idraulica è un fenomeno notevolmente complesso, al quale, sulla base delle conoscenze acquisite sino ad oggi, è difficile assegnare un rigoroso modello matematico poiché sono numerosi i fattori che influenzano la portata, come:

- ✓ Precipitazioni meteoriche;
- ✓ Processi di evaporazione, traspirazione ed infiltrazione nel sottosuolo;
- ✓ Caratteristiche geomorfologiche, orografiche, geologiche e forestali del bacino.

Per l'analisi dei dati pluviometrici lo Studio Conti ha analizzato i dati storici della stazione pluviografica di Salò per un periodo che va dal 1956 al 1982. In questo modo è stato possibile applicare i seguenti metodi empirici per la valutazione della portata di massima piena del torrente suggeriti da Regione Lombardia e dall' Autorità di Bacino del Po:

- Metodo SCS: che permette di valutare la portata idrica di massima piena in funzione dello stato idrico in cui si trova il bacino in esame, attraverso l'inserimento del parametro AMC (Antecedent Moisture Condition); questo metodo si adatta meglio all'analisi di piccoli bacini.
- Metodo Razionale: che si adatta meglio all'analisi di medi bacini; è pertanto consigliata l'applicazione su bacini interi senza suddivisione in sottobacini.

N.B.= i parametri morfometrici di bacino sono stati calcolati tramite un sistema informativo geografico (G.I.S.) per poi essere successivamente utilizzati per applicare i diversi metodi per il calcolo della portata massima di piena.

### Metodo razionale

Il metodo razionale è il più utilizzato dei metodi di calcolo delle portate di piena dei torrenti bacini di media estensione. È un metodo analitico basato, sia su parametri morfometrici, che su parametri idrometeorologici del bacino supponendo inoltre, che la precipitazione sia uniforme su tutto il bacino e che la durata dell'evento critico sia pari al tempo di corrivazione.

La formula utilizzata è la seguente:

$$Q = \frac{k * i * A}{3.6}$$

dove :

- *k* è il coefficiente di deflusso che dipende dalla litologia e dalla morfologia del bacino;
- *i* ( in mm) è la quantità di precipitazione che genera la portata Q;
- *A* è l'area del bacino (in Km<sup>2</sup>).

L'intensità di precipitazione *i* è calcolata attraverso il tempo di corrivazione, calcolato in questo caso con la seguente formula di Kirpich:

$$T_c = \frac{L^{1.15}}{15 * (H_{max} - H_{min})^{0.38}}$$

Dove:

- *L* = lunghezza dell'asta principale ( in Km);
- Altri parametri deducibili da tabella dei dati morfometrici di bacino.

L'analisi è stata condotta sull'intero bacino assegnando un valore di coefficiente di deflusso conservativo pari a 0.55, considerando la situazione più sfavorevole dovuta a condizione di terreno con elevato contenuto d'acqua ed ottenendo successivamente diverse portate in funzione di diversi tempi di ritorno.

## Metodo SCS

Il metodo è utilizzato negli USA per bacini fino a 20 Km<sup>2</sup> di superficie, considera il deflusso superficiale in funzione del contenuto idrico del suolo (acqua di infiltrazione), della pioggia netta e del contenuto idrico massimo del suolo (ritenzione idrica).

Le proprietà idrologiche del sistema suolo-terreno sono riassunte dal coefficiente CN che esprime l'attitudine di un bacino a produrre deflusso e si determina attraverso l'esame del substrato geologico (classi di capacità di deflusso A,B,C,D) e del tipo di utilizzo del suolo. Dalle osservazioni geo-litologiche è stato considerato un suolo, nel suo complesso, appartenente al gruppo D (roccia affiorante e terreno con capacità di deflusso molto elevata).

Il pregio di questo metodo è quello di tener conto delle piogge cadute in precedenza, che quindi, modificano le condizioni di saturazione del suolo distinguendole in tre categorie: AMC I, II, III. Per quanto riguarda l'analisi effettuata è stata considerata la situazione limite e più sfavorevole: AMC III. Il calcolo della portata di colmo utilizza come idrogramma di piena un triangolo in cui la durata della precipitazione è inferiore al tempo di accumulo.

Questo modello è molto importante perché applicabile sia alla scala di bacino sia a quella di sottobacino ma è altresì importante la valutazione delle pendenze medie dei versanti di bacino.

L'analisi è stata condotta considerando l'intero bacino in funzione del tipo di terreno presente, dell'uso del suolo e nella situazione più sfavorevole con AMC III ed a seguito è stato assegnato un valore di CN (Curve Number).

### 4.1.6.3. Considerazioni riassuntive

La stima delle portate di massima piena è effettuabile con metodologie differenti, a seconda della quantità e della qualità delle informazioni idrologiche disponibili. È ovvio che, anche la precisione dei risultati ottenibili, è direttamente proporzionale alla quantità di dati disponibili.

Nella fattispecie, le metodologie di calcolo adottate si sono basate sullo studio della correlazione tra la portata di massima piena ed una delle superfici caratterizzanti il bacino come la superficie, la quota media, il tempo di corrivazione e l'altezza (h) di precipitazione.

Dall'analisi dei metodi di calcolo utilizzati e soprattutto delle portate di massima ottenute (Tabella 3), è possibile osservare che i valori sono paragonabili ma, realisticamente, il metodo SCS è più adatto a bacini di piccole dimensioni (Tabella 4); nel nostro caso infatti il bacino è caratterizzato da una forma molto stretta ed allungata e dall'elevata capacità di deflusso delle linee di compluvio, con un tempo di corrivazione di circa 2 minuti. Il bacino risente anche delle precipitazioni più brevi con la restituzione quasi totale dell'acqua meteorica.

**Tabella 3 Riassume i risultati ottenuti con i due diversi metodi utilizzati ed in funzione di diversi Tempi di Ritorno (T)  
(da Relazione Idrologica redatta dallo Studio Conti):**

<u>Tempo di ritorno</u>	<u>Metodo Razionale</u>	<u>Metodo SCS</u>
Anni	Portata Max (m <sup>3</sup> /s)	Portata Max (m <sup>3</sup> /s)
50	2.20	2.07
100	2.50	2.61
200	2.80	3.18

**Tabella 4 Valori di portata massima di piena adottati:**

<b><i>Tempo di ritorno 50</i></b>	<b><i>Tempo di ritorno 100</i></b>	<b><i>Tempo di ritorno 200</i></b>
<i>2.07 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>2.61 (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>3.18 (m<sup>3</sup>/s)</i>

#### **4.1.7. Calcolo della magnitudo di una colata**

Una grandezza di importante valutazione per i casi come quello in esame è il volume massimo di materiale detritico (magnitudo) mobilizzabile durante un evento di trasporto idrologico estremo.

Questo può essere valutato direttamente, analizzando in loco le aste principali del bacino e le zone di testata e stimando il volume di materiale presente ma, se questo dato non può essere direttamente rilevato, si consiglia di utilizzare alcuni metodi empirici riportati nella letteratura tecnica che devono però essere integrati con osservazioni effettuate nei bacini in esame.

Per il calcolo della magnitudo, effettuato dallo Studio Conti, si sono applicate diverse formulazioni di calcolo riferibili a vari autori, che hanno dato risultati molto divergenti ma considerando le caratteristiche morfologiche di bacino, si sono ritenuti significativi i valori riportati in Tabella 5.

<b><i>METODO</i></b>	<b><i>MAGNITUDO (m<sup>3</sup>)</i></b>
<i>Ikeya</i>	<i>2044</i>
<i>Marchi</i>	<i>1120</i>
<i>Rickemann</i>	<i>801</i>
<i>Takei</i>	<i>1091</i>
<i>Bottino</i>	<i>6673</i>
<i>Crosta</i>	<i>419</i>
<i>Turconi</i>	<i>329</i>

**Tabella 5 Valori di Magnitudo ritenuti significativi Fonte: Relazione Idrologica redatta dallo Studio Conti).**

Considerando inoltre che:

1. L'analisi storica non ha evidenziato nessun evento catastrofico;
2. Il materiale disponibile in bacino non è risultato elevato;
3. Le opere in alveo come le briglie in cemento sono da considerarsi efficienti;

è stato assunto come valore rappresentativo della magnitudo un valore massimo di 800 m<sup>3</sup>; valore questo, che comprende un fattore di sicurezza che tiene conto dell'incertezza dei rilievi di campagna, delle formule empiriche utilizzate e della dinamica variabile dell'evento.

Secondo lo Studio Conti dalla verifica della colata detritica è emersa una portata di picco di 8 m<sup>3</sup>/s ricavata dalla relazione proposta da Armanini (1996) che assume il valore della portata massima liquida e la moltiplica per dei coefficienti che dipendono dalla concentrazione della colata stessa; il valore ottenuto concorda anche con la portata di picco ottenuta secondo Hashimoto di 10 m<sup>3</sup>/s (1978) e del Dam-Break che ipotizzano uno sbarramento di 5-6 m e alto 1.5 m con una portata rispettivamente di 8.5 m<sup>3</sup>/s e 9.5 m<sup>3</sup>/s.



#### 4.1.8. Determinazione della pendenza di compensazione

Il valore della pendenza  $i_c$  (vedi Figura 21) può essere determinato imponendo che il rapporto tra lo sforzo tangenziale al fondo ed il peso immerso di particella rispetti i valori dell'abaco di Shields che vale in caso di alta sommergenza. ( $h/d_{50} > 6$ )

$$i_c = \frac{\phi (\gamma_s - \gamma) d_{50}}{\gamma R}$$

dove:

- $\gamma_s$  è il peso specifico del materiale costituente l'alveo;
- $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua;
- $d_{50}$  è il diametro medio del materiale costituente l'alveo;
- $R$  è il raggio idraulico corrispondente al moto uniforme per la portata di progetto  $Q$ ;
- $\phi = 0.06$  valore di equilibrio ricavabile dall'abaco di Shields per  $R_c > 200$ .

In caso di bassa sommergenza ( $h/d_{50} < 6$ ) non valgono più le esperienze di Shields bensì : (cfr Paoletti, Lezioni di Idraulica fluviale, 1990)

$$i_c = \left[ \frac{M^{10/3}}{N^{7/3}} \sqrt{g} \frac{\beta^{5/3} d_{50}}{Q} B \right]^{6/7}$$

dove

$$M = 1.75 \left( \frac{y}{d_{50}} \right)^{-0.117}$$
$$N = 2.41 \left[ \left( \frac{y}{d_{50}} \right)^{-1/6} - 0.11 \left( \frac{y}{d_{50}} \right)^{-1.267} \right] \ln \left( 2.73 \left( \frac{y}{d_{50}} \right) \right)$$
$$\beta = \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma}$$

Dove:

- ✓  $B$  è la larghezza di sezione;
- ✓  $Y$  è il tirante idrico.

Nelle considerazioni finali sono state tenute in considerazione la variazione delle condizioni al contorno come la variazione di pendenza dell'alveo, presenza di diverse geometrie delle sezioni ed il variare repentino della granulometria del trasporto solido e si è deciso di adottare come pendenza di compensazione un valore medio di 10°.

#### 4.2. Analisi dell'evoluzione del problema dagli anni '30 ad oggi.

Dall'analisi della documentazione presente nell'archivio del Corpo Forestale dello Stato è emerso che, già nel 1933, la Val Bertone e più in generale il bacino Montano dell'Alto Garza era un sorvegliato speciale poiché ricco di dissesti, quindi potenzialmente pericoloso nella sua immissione nella Città di Brescia in via di espansione.

La dimostrazione di quanto sopra detto viene dalla Figura 26 che mostra la presenza di un complesso piano di sistemazioni idrauliche e rimboschimenti nell'ampio bacino del Garza e più in dettaglio anche nella zona da me presa in esame (Figura 27), chiamata ai tempi: Frana Roncada.

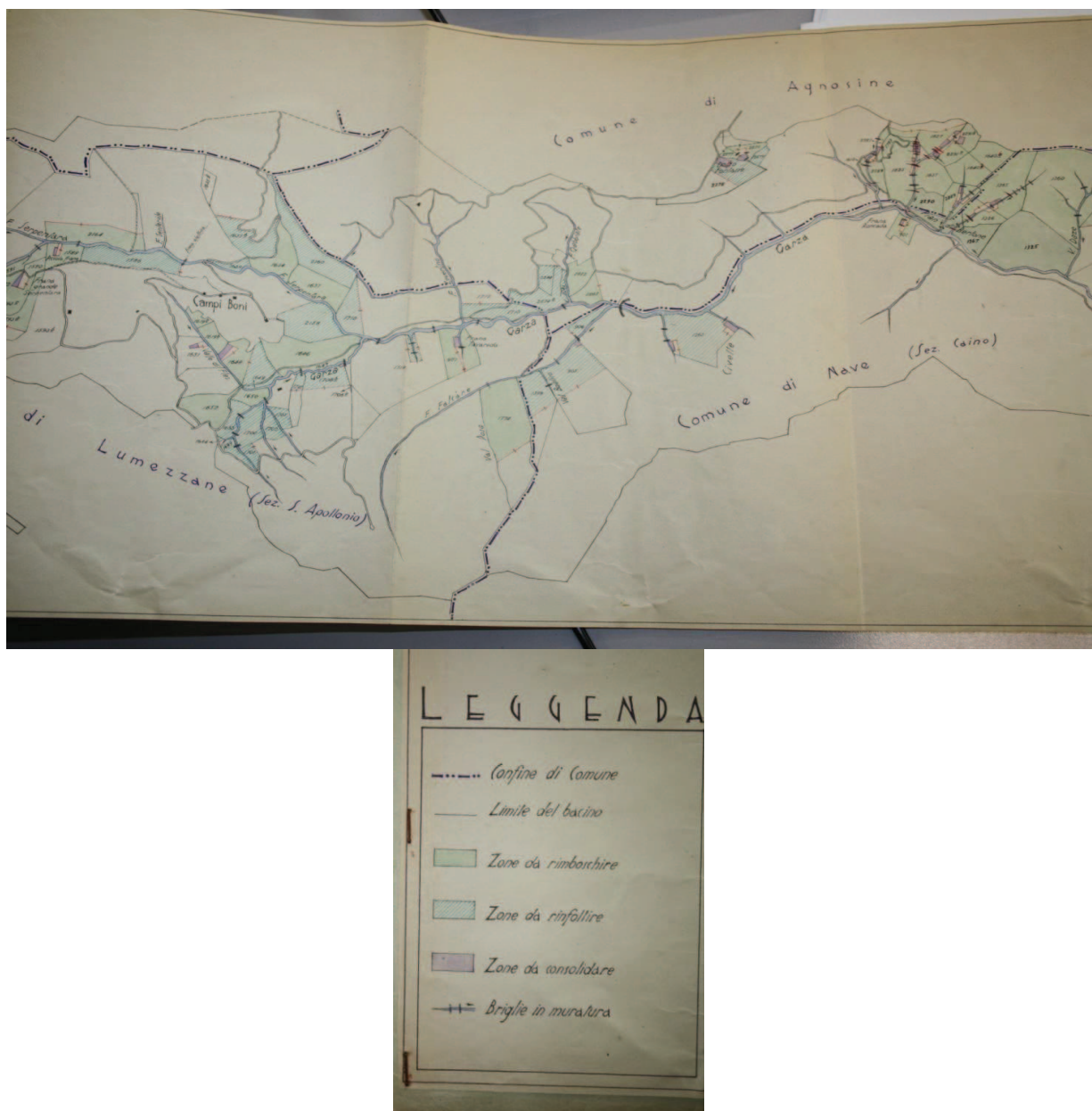


Figura 26. Planimetria catastale del bacino idrografico del Fiume Garza con in evidenza le particelle oggetto di intervento e le varie tipologie di interventi da realizzare. Scala 1:10000. Archivio CFS Brescia, 2011.



Figura 27. In evidenza la Particella catastale 901, ai tempi chiamata Frana Roncada ed attualmente zona di studio. Archivio CFS Brescia, 2011.

La Figura 28 illustra la situazione della Frana Roncada (Torrente Bertone) nel 1930.

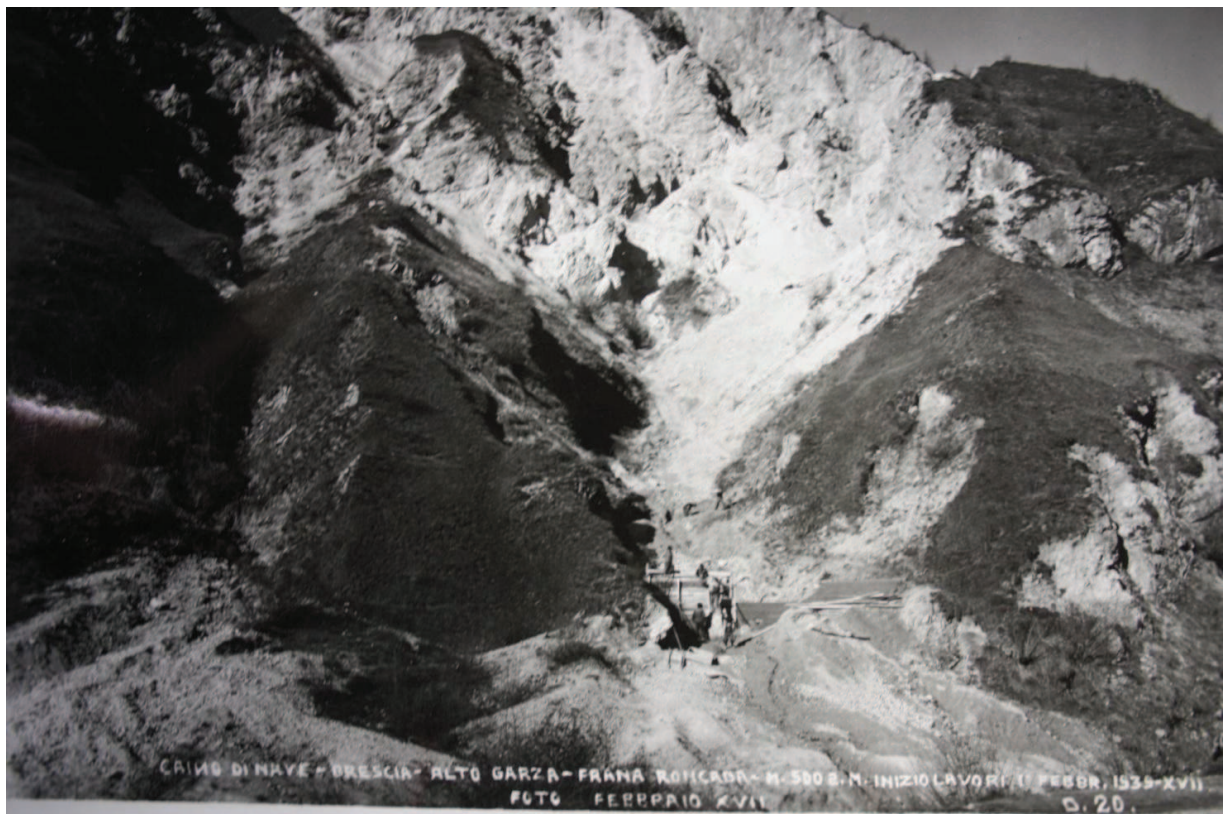


Figura 28. Frana Roncada nel 1939. Archivio CFS Brescia, 2011.

Il primo progetto iniziò nel 1938 (a seguito della Perizia iniziale effettuata nel 1933) e consisteva, per quanto riguarda la Frana Roncada, nella realizzazione di n°2 briglie in cls di tipologia 2 (Figura 29) , nell'esecuzione di graticciate e palizzate con posa di talee di *Salix caprea* e *Populus canadensis* (Figura 30) ,nell'esecuzione di rimboschimenti mediante l'apertura di buche 40x40x40 e piantumazione delle seguenti specie: *Picea Excelsa*, *Pinus Austriaca*, *Larix Europea*, *Populus Canadensis*, *Robinia Pseudoacacia* ed infine inerbimento di zone franose mediante semina di Trifoglio delle sabbie.

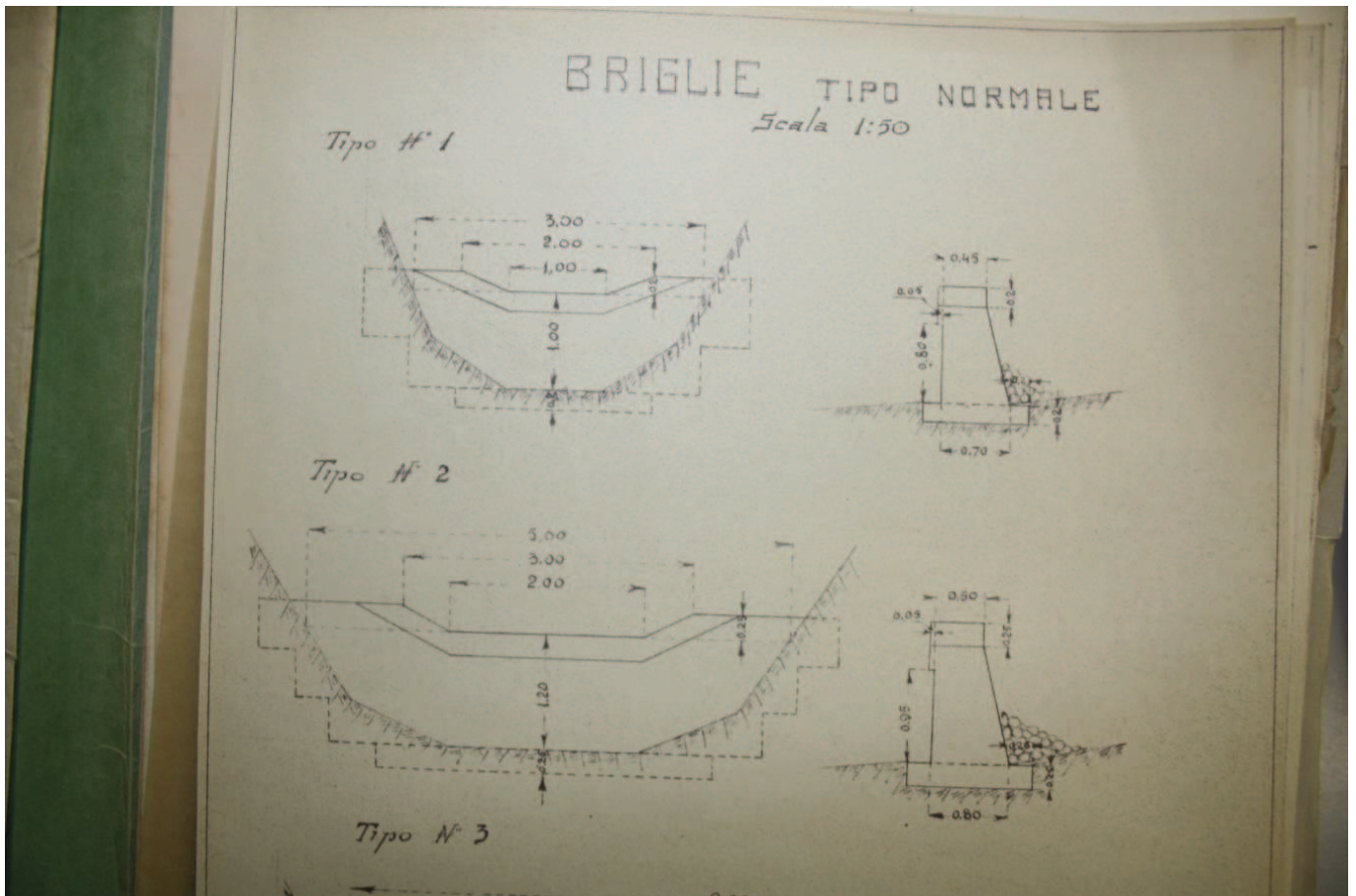


Figura 29. Tipologia di briglie utilizzate. Nella Frana Roncada sono state realizzate 2 briglie di tipo n°2. Archivio CFS Brescia, 2011.

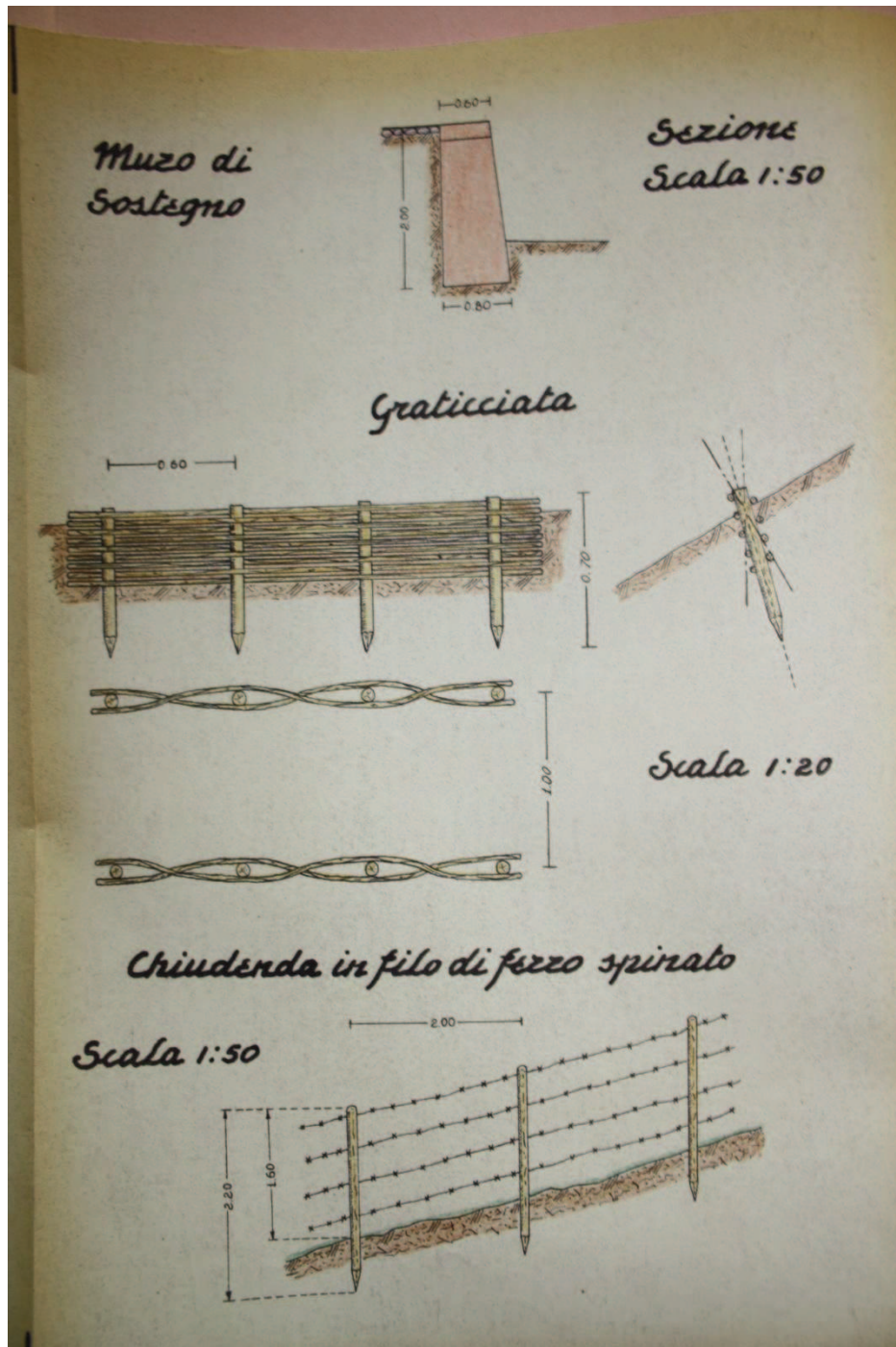


Figura 30. Rappresentazione delle opere da realizzare. Archivio CFS Brescia, 2011.

Nelle Figure 31, 32, 33, 34 si può osservare la dettagliata dei lavori eseguiti con specificati i costi di realizzazione.

Numero d'ordine	DESCRIZIONE DEI LAVORI	IMPORTO	
		parziale	totale
1	Sistemazione della frana "Rancada" al mappale 901(Caino):		
	a)-Scorronamenti.....mc. 322,000		981 95
	b)-Costruzione della briglia N.1:		
	-Scavo di fondazione in materiale misto a roccia.....mc. 36,489	351 95	
	-Muratura in calcestruzzo con pietrame affogato.....mc. 32,535	2.742 50	
	-Copertine in pietra e malta cementizia.....mc. 1,922	198 00	
	-Rinterro a monte della briglia.....mc. 25,000	75 50	
		L.	3.367 95
	c)-Costruzione della briglia N.2:		
	-Scavo di fondazione in materiale misto a roccia.....mc. 23,757	245 55	
	-Muratura in calcestruzzo con pietrame affogato.....mc. 25,059	2.044 20	
	-Copertine in pietra e malta cementizia.....mc. 0,285	116 80	
	-Rinterro a monte della briglia.....mc. 16,000	53 75	
		L.	2.465 30
	d)-Graticciate.....ml. 660,00		3.241 60
			A riportare
			10.056 80

Figura 31. Archivio CFS Brescia, 2011.

.....mc. 25,000	75 50		
	L.		3.367 95
c)-Costruzione della briglia N.2:			
-Scavo di fondazione in materiale misto a roccia.....mc. 23,757	245 55		
-Muratura in calcestruzzo con pietrame affogato.....mc. 25,059	2.044 20		
-Copertine in pietra e malta cementizia.....mc. 0,285	116 80		
-Rinterro a monte della briglia.....mc. 16,000	53 75		
	L.		2.465 30
d)-Graticciate.....ml. 660,00			3.241 60
			A riportare
			10.056 80

Figura 32. Archivio CFS Brescia, 2011.

5	Rimboscimento ai mapp. 901-1322-971-1324-1350-1355-1326 e 1367-in Comune di "Nave" ed ai mapp. 1840 b.-1840 a-2229-2230-in Comune di "Agnosine", mediante l'apertura di N. 112.440 buche da 40x40x40 e la posa a dimora di N. 204.290 piantine; così suddivise per specie:		
	N. 33.000 Picea excelsa;		
	N. 26.360 Pinus austriaca;		
	N. 20.000 Larix europaea;		
	N. 29.000 Pinus montana;		
	N. 30 Polus canadensis;		
	N. 108,890 da riportare.		
			A riportare
			44.145 27

Figura 33. Archivio CFS Brescia, 2011.

LAVORI ESEGUITI NELL'ESERCIZIO FINANZIARIO 19 - 19			
Numero d'ordine	DESCRIZIONE DEI LAVORI	IMPORTO	
		parziale	totale
	Riporto.....L.		23.944 55
	901(Caino)		
	Graticciate.....ml. 402,00	1.438 80	
	-Palizzate.....ml. 241,00	3.434 70	
	-Fascinate.....ml. 325,00	2.369 20	
		L.	7.292 70
4	Apertura sentieri di servizio nelle zone precedenti.....ml. 1.910-		2.210 00

Figura 34. Archivio CFS Brescia, 2011.

La Frana Roncada dopo i suddetti interventi si presentava come in Figura 35 :



Figura 35. Archivio CFS Brescia, 2011.

Nel 1939 e 1940 ci fu l'ulteriore sistemazione di una parte di frana con graticciate, palificate e fascinate congiuntamente ad opere di risarcimento della zona precedentemente rimboscata.

Nel 1940 e 1941 si realizzarono rinfoltimenti con semina di *Quercus pedunculata* e *Quercus sessiflora* ed ulteriori risarcimenti nelle zone precedentemente rimboscate.

Nel 1946 e 1947 ci fu la costruzione di n°7 muretti a secco come consolidamento delle superfici franose. (Figura 36)

<u>Opere di consolidamento</u>				
<b>1 Ricostruzione muretti a secco nella frana dei Fini :</b>				
a) scorporamento	mq.	500,=	170,=	136000,=
b) scavi di fondazione	"	250,=	145,=	36250,=
c) muratura a secco	"	390,=	1000,=	390000,=
				562.250,=
<b>2 Costruzione di n° 7 muretti a secco nel canale della frana "Roncozza":</b>				
a) scorporamento	mq.	600,=	170,=	102000,=
b) scavi di fondazione	"	200,=	145,=	29000,=
c) muratura a secco	"	350,=	1000,=	350000,=
d) canali di drenaggio	ml.	260,=	580,=	150800,=
				631.800,=
<u>Rinboschimenti</u>				
<b>1 Rinboschimento nelle località: Dese Fontane e Civella ha.</b>				
	ha.	22,=	33000,=	682000,= 682.000,=

Figura 36. Dettaglio delle opere realizzate e relativi costi. Archivio CFS Brescia, 2011.

Nel 1952 si procedette con la costruzione di una traversa in muratura al di sopra delle 2 briglie precedentemente realizzate nel 1938 (Figura 37e 48 ).

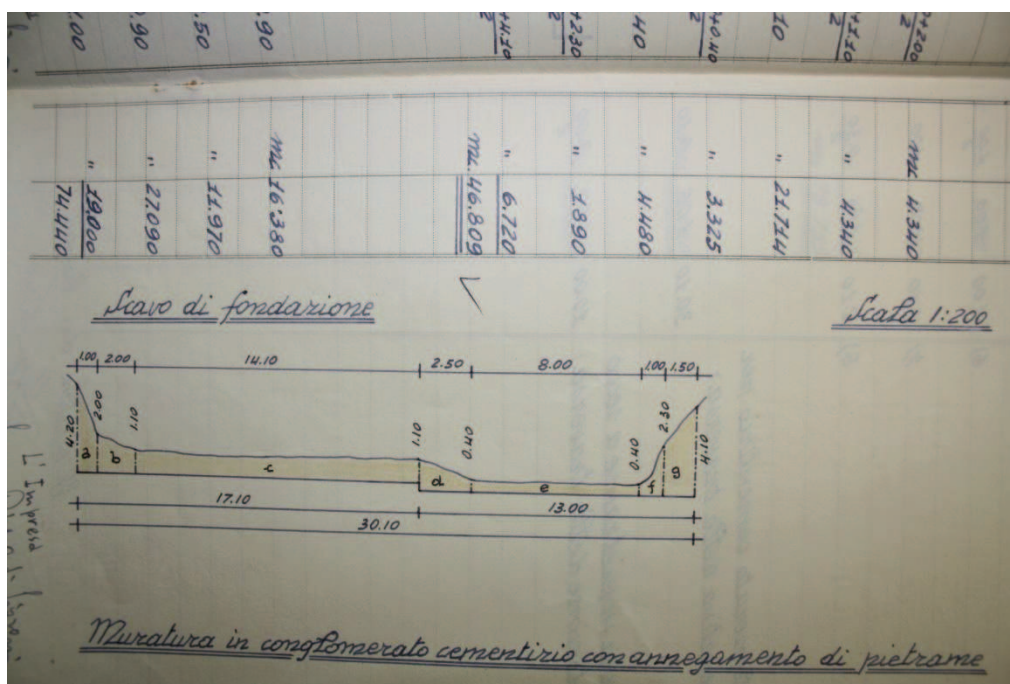


Figura 37. Dettaglio dello scavo di fondazione. Archivio CFS Brescia, 2011.



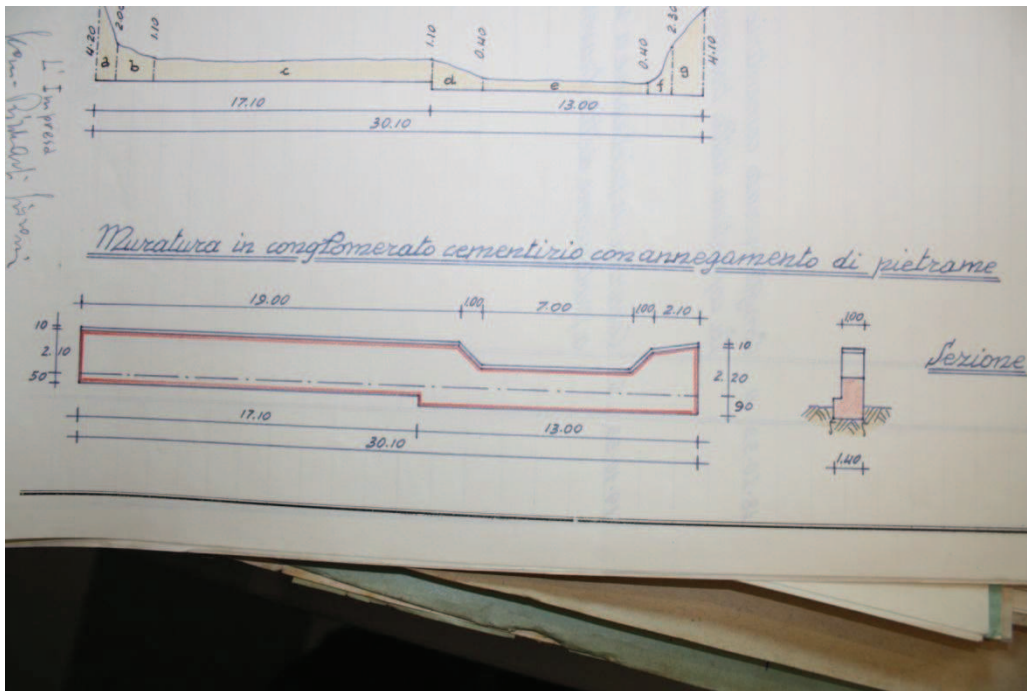


Figura 38. Dettaglio delle opere in muratura. Archivio CFS Brescia, 2011.

Nel 1960, quindi, la frana Roncada presenta al suo interno n° 3 briglie realizzate nei 2 precedenti interventi ma, secondo la perizia effettuata dal CFS, per l'ulteriore consolidamento dei fenomeni franosi la zona necessita della realizzazione di n° 7 briglie o soglie disposte scalarmente a risalire verso monte (Figura 39).

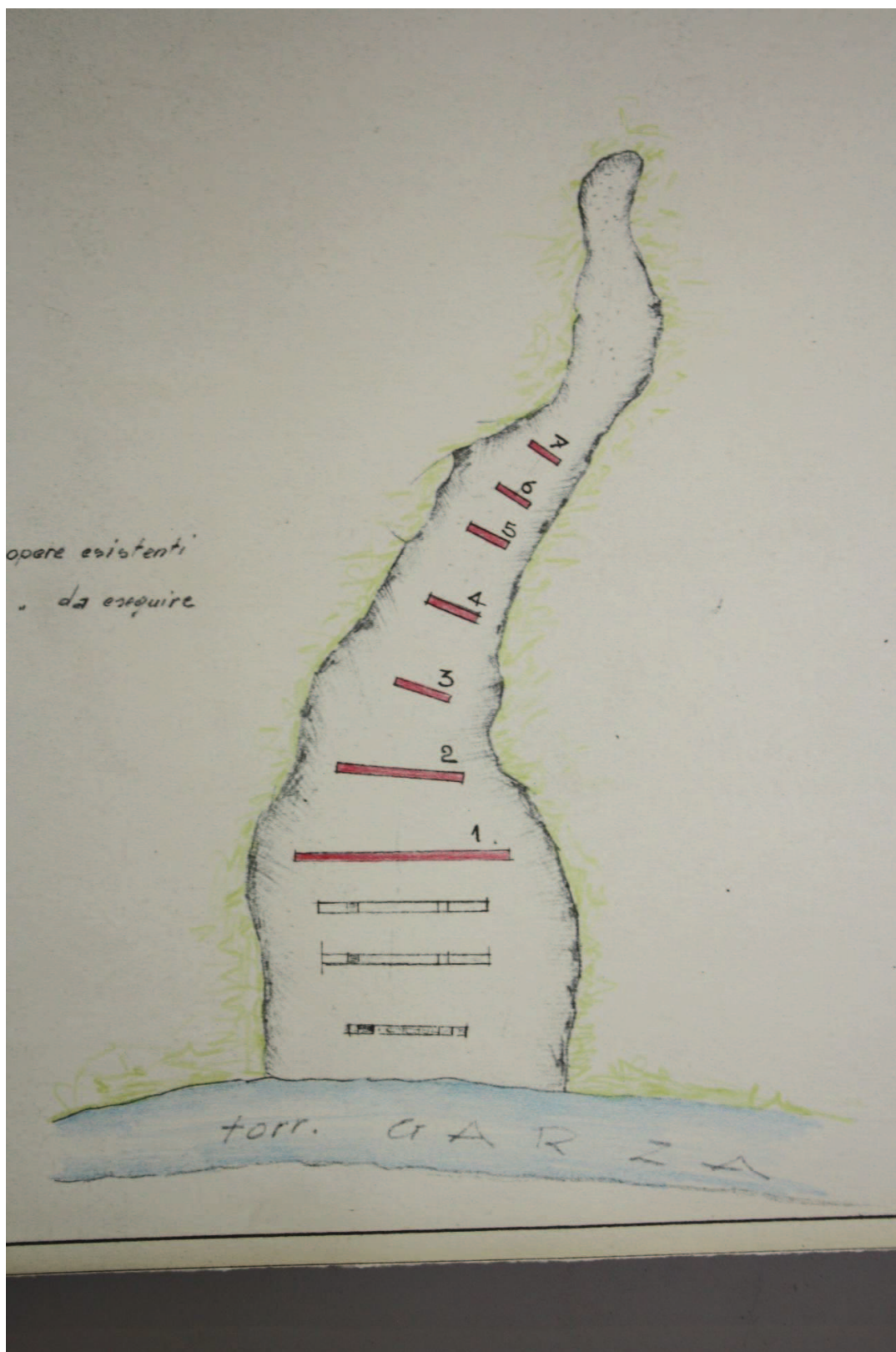


Figura 39. Le opere da realizzare sono evidenziate in rosso e numerate. Archivio CFS Brescia, 2011.





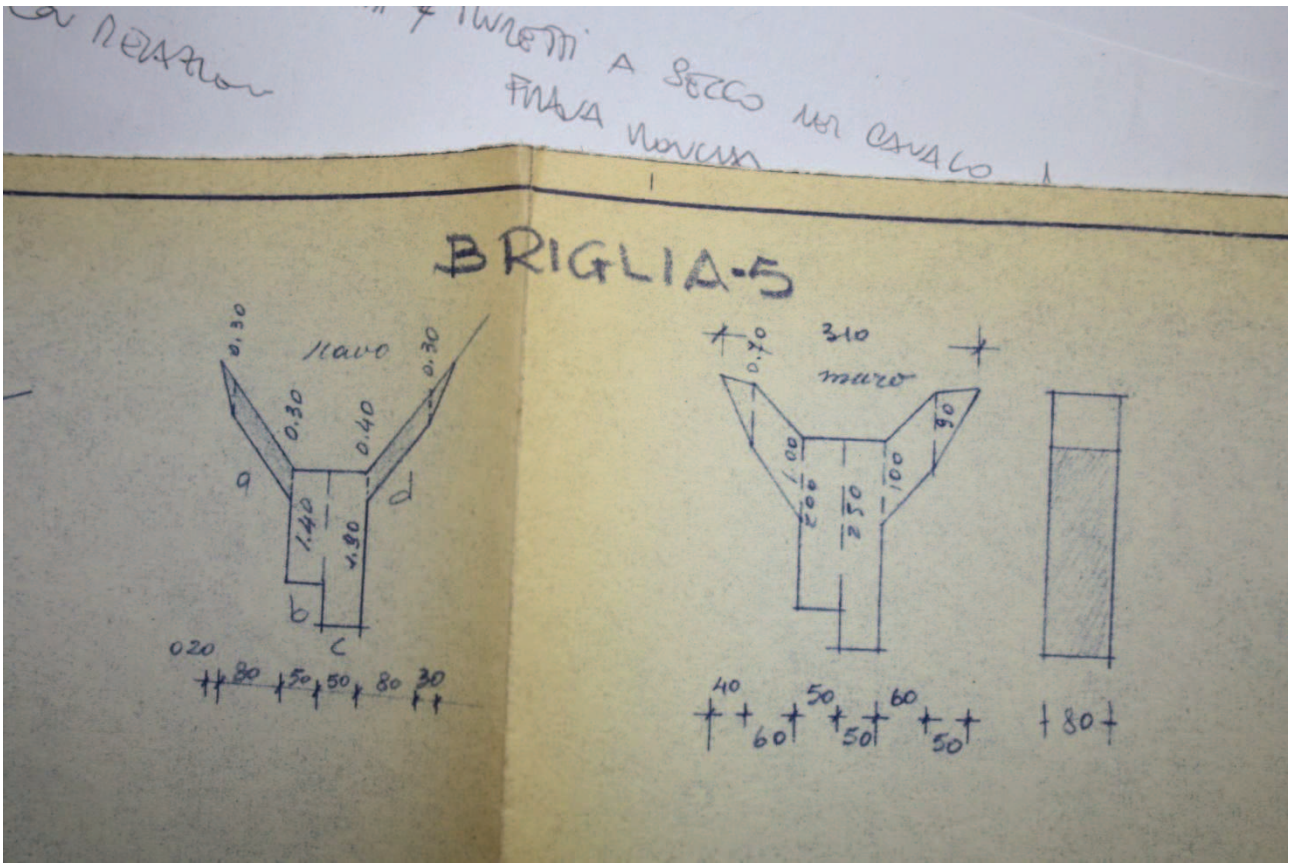


Figura 44. Briglia n°5. Archivio CFS Brescia, 2011.

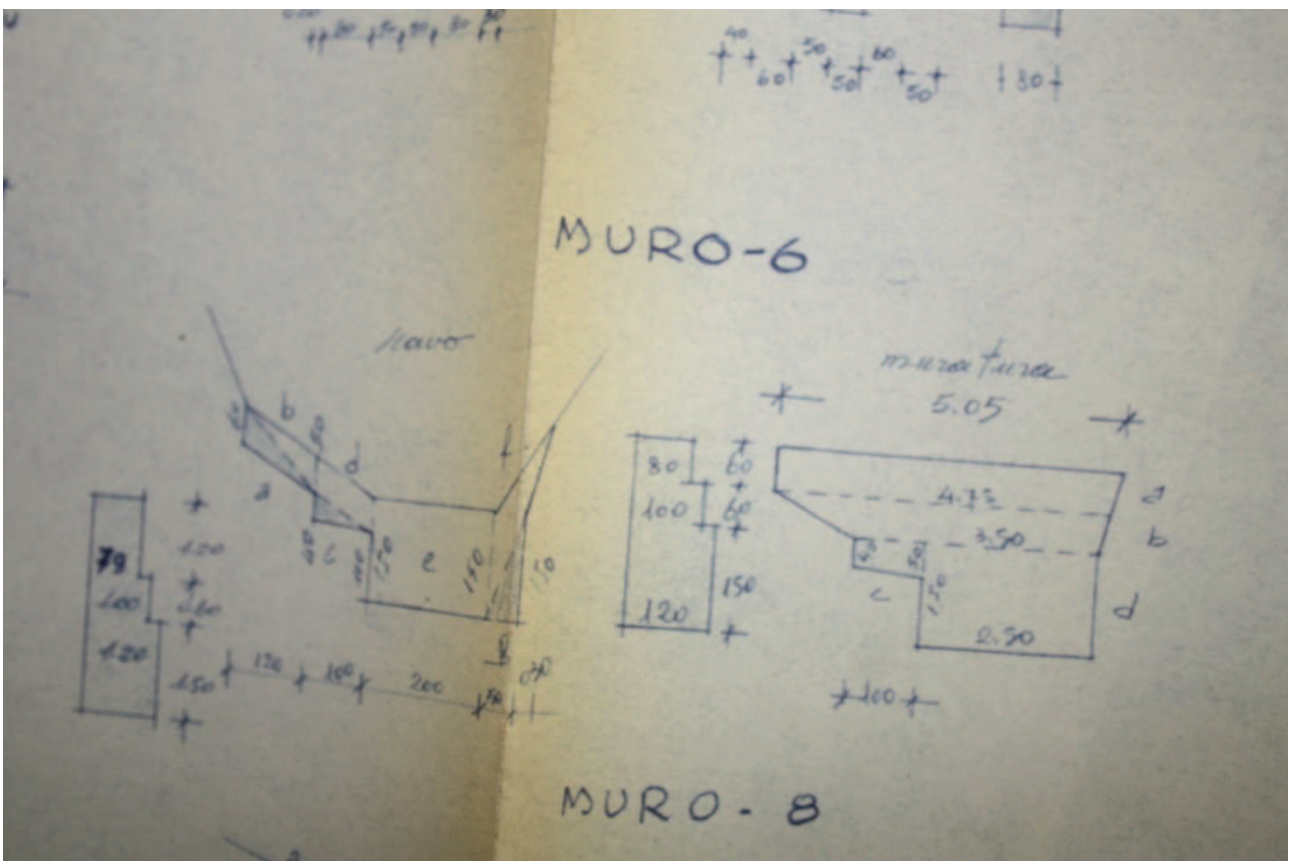


Figura 45. Muro n°6. Archivio CFS Brescia, 2011.

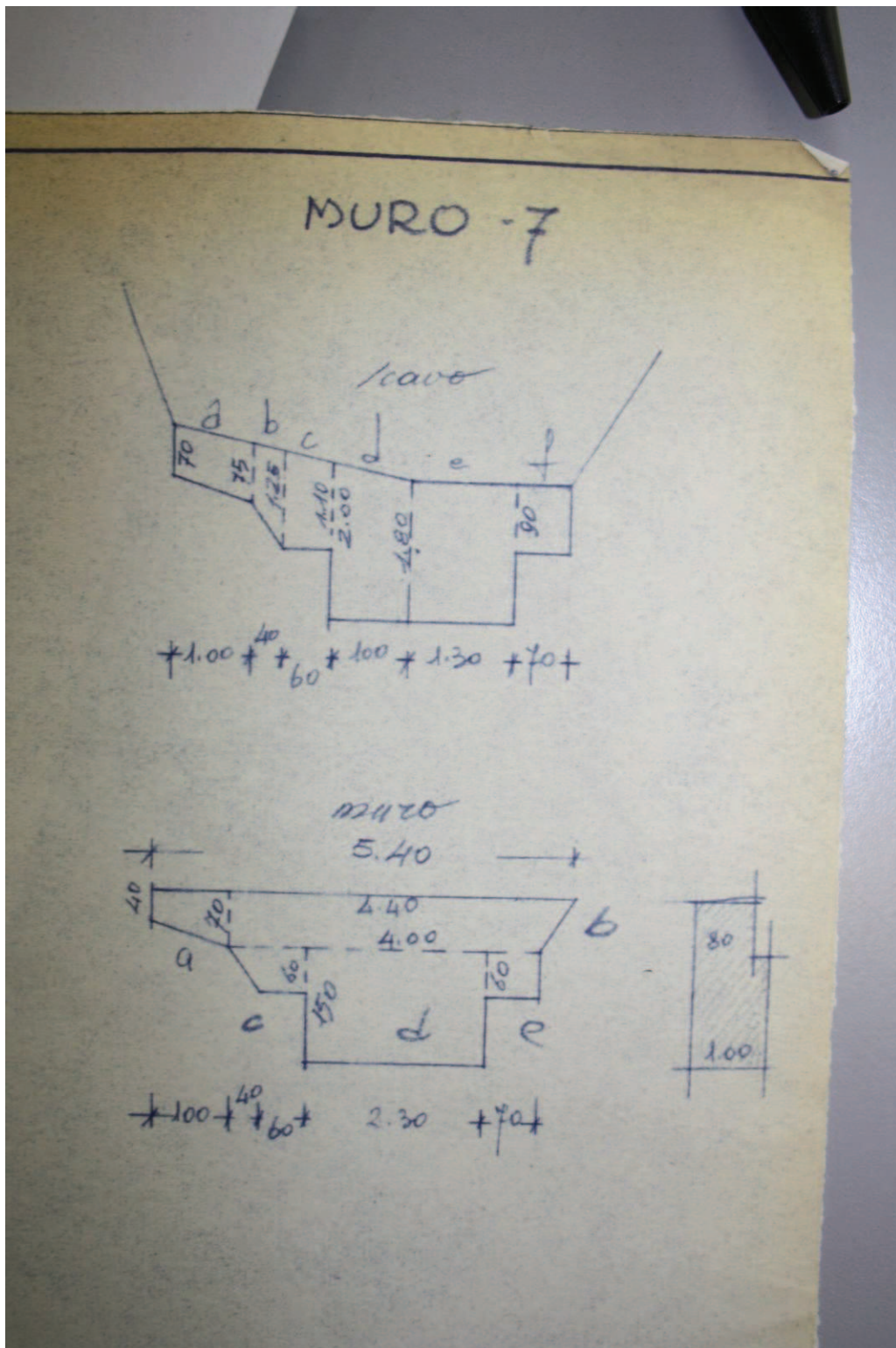


Figura 46. Muro n°7. Archivio CFS Brescia, 2011.



Prima dell'intervento l'area del Torrente Bertone era interessata da processi di erosione che caratterizzano le aste fluviali poco mature. Le cause sono da attribuire ad una capacità di trasporto solido maggiore dell'apporto di materiale disponibile nel bacino di alimentazione e da un'azione di trascinarsi del flusso d'acqua, superiore alla resistenza del materiale in alveo. (capacità di trascinarsi per lo più determinata dall'elevata pendenza del fondo che causa un'eccessiva velocità della corrente); inoltre erano ben visibili i danni causati da fenomeni di granular debris flow (colata di detriti) e parzialmente, da crolli di massi (nella zona a monte) che hanno coinvolto le briglie esistenti, realizzate dal Corpo Forestale dello Stato negli anni '60, sottoescavandole ed aggirandole (Figura 49 e 50).



Figura 49 e 50. Briglie realizzate dal CFS negli anni '60 con fenomeni di cedimento strutturale e sottoescavazione.

Le briglie erano in parte in condizioni precarie e non assolvevano più le loro funzioni essendo in alcuni casi in condizioni di crollo imminente.

Le opere realizzate nel 2008 per la riduzione dei volumi di trasporto solido e per la mitigazione degli effetti impulsivi del Torrente Bertone, possono essere riassunte nelle seguenti:

- ✓ Demolizione delle briglie non più efficienti o non più in grado di assolvere la loro funzione di ritenuta poiché gravemente danneggiate;
- ✓ Consolidamento delle vecchie briglie in cemento con chiodature diffuse e piastre d'ancoraggio (Figura 51);



Figura 51. Briglia in Cls con chiodature di consolidamento in Val Bertone.

- ✓ Riprofilatura del versante con nuovo profilo di compensazione tramite briglie filtranti mobili tipo "Ombrelli" disposte a gradonata (Figura 52).





Figura 52. Sistemazione con profilo a gradonata in Val Bertone.

- ✓ Movimento terra per il posizionamento delle strutture metalliche e rinalzo delle vecchie briglie sottoescavate.

Visto che localmente persistevano i seguenti fenomeni erosivi:

- Erosione concentrata in corrispondenza di un settore di modeste dimensioni compreso tra due ordini di pannelli consolidatori già esistenti nell'alveo del Torrente Bertone.
- Erosione superficiale su porzioni di versante della valle considerata.

nel 2011 è stato appaltato il progetto da me seguito per lo svolgimento dell'elaborato finale che si configura come tentativo di variare lievemente il profilo di compensazione, al fine di eliminare tali fenomeni.

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova balzata con pannelli consolidatori Erdox Junior per ristabilire la pendenza di equilibrio (in origine troppo elevata) in un tratto del Torrente Bertone compreso tra due file di pannelli realizzati nel precedente intervento. Il progetto inoltre prevede opere di mitigazione ambientale da realizzare sui pannelli della nuova balzata e sui pannelli Erdox posizionati con la sistemazione precedente e la realizzazione di un sistema antierosivo, costituito da pannelli in rete elettrosaldata e rete antidilavamento (geogriglia) aventi funzione di cassero e fissati al suolo con barre auto perforanti (vedi tavola descrittiva riportata nella pagina seguente).

Quest'ultimo intervento, in particolare, sarà completato con la semina di specie autoctone mediante idrosemina a spessore al fine di ottenere la rinaturazione delle porzioni instabili.



### 4.3. Dissesti in atto

Dalla mia analisi in loco e dalla relazione effettuata dallo Studio Conti si sono riscontrati i seguenti fenomeni erosivi puntuali e potenzialmente pericolosi:

- Erosione concentrata in alveo: nel tratto a monte della zona sottoposta precedentemente ad interventi di profilatura e consolidamento si stanno verificando locali fenomeni di erosione concentrata con scalzamento al piede (Figura 53 e 54); il quadro attuale potrebbe peggiorare ulteriormente in occasione di intensi fenomeni piovosi.



Figura 53 e 54. Fenomeno di erosione al piede del pannello consolidatore Erdox.

- Erosione su versante: in corrispondenza dei versanti che delimitano la Val Bertone si notano porzioni denudate (Figura 55), con evidenti solchi di erosione lungo le direzioni di massima pendenza dovute a locali fenomeni di erosione superficiale, che causano una lenta ma inesorabile disgregazione dei materiali granulari affioranti.



Figura 55. Fenomeno accentuato di erosione su versante.

## 4.4. Tecniche di intervento in progetto

Com'è possibile visualizzare dalla figura (Figura 55), gli interventi previsti nel progetto preso in esame, sono di tre tipologie.

### 4.4.1. Realizzazione di una nuova balzata

Realizzazione di una nuova balzata sostenuta da elementi consolidatori ancorati al terreno mediante funi in acciaio; la nuova balzata sarà posizionata tra due ordini di pannelli consolidatori esistenti. Questo intervento sarà sufficiente per apportare una variazione locale al profilo di compensazione tale da ridurre i fenomeni erosivi in atto (Figura 56, 57, 58) ( vedi tavola descrittiva riportata di seguito ).



Figura 56. Zona in cui si andrà a realizzare la nuova balzata prevista da progetto.



Figura 57. Localizzazione della nuova serie di pannelli Erdox Junior. Autore: Studio Conti, 2011.

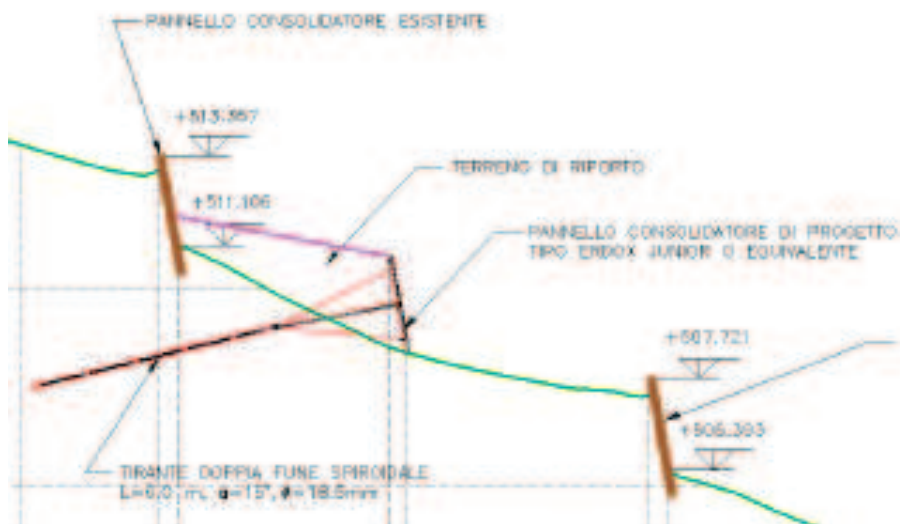


Figura 58. Sezione costruttiva della nuova balconata realizzata. Autore: Studio Conti, 2011.



Vista la difficile cantierizzazione dei luoghi si è scelta questa tecnologia per una facilità di posa in opera e per evitare di realizzare una struttura rigida come quelle esistenti, che hanno manifestato il loro limite funzionale nel tempo. Come fondazione dell'elemento si è scelta una fune di ancoraggio, che risulta essere meno rigida della fondazione con la barra d'acciaio e per questo più adatta agli assestamenti degli elementi. L'elemento ad ombrello è disposto trasversalmente al corso d'acqua con il paramento inclinato di 10° rispetto alla verticale.

Si riportano di seguito le varie fasi esecutive:

Fase 1: Esecuzione dello sbancamento per ottenere il piano di appoggio dei pannelli Erdox Junior ed esecuzione perforazioni per inserire i tiranti nel versante. Il tirante, della lunghezza di 6 m, è costituito da doppia fune metallica e iniezione di miscela cemento-acqua ed eventuali additivi preventivamente scelti; è realizzato mediante la piegatura della fune spiroidale su se stessa a formare nella parte superiore un'asola della larghezza superiore a mm 50. La fune così piegata, con le estremità parallele l'una all'altra e congiunta ad intervalli regolari di mm 500 da clemme di acciaio stampato chiuse a pressione, presenta sull'estremità opposta alla redancia, un cappuccio di acciaio stampato di spessore di mm 2, chiuso a pressione.



Fase 2: Posizionamento dei pannelli e loro ancoraggio ai tiranti.





Fase 3: Riempimento a monte dell'opera con materiale reperito in loco ad ottenere l'opera finita.



#### **4.4.2. Realizzazione del sistema di rivestimento antiersivo**

Realizzazione del sistema di rivestimento antiersivo superficiale Tipo Sirive 4 costituito da pannelli in rete elettrosaldata e rete antidilavamento (geogriglia) aventi funzione di cassero e fissati al suolo con barre auto perforanti. I pannelli saranno distanziati dal fronte della scarpata in modo da formare un'intercapedine da riempire con terreno vegetale. L'intervento sarà completato con la semina di specie autoctone con idrosemina a spessore eventualmente completata con la piantumazione di talee, al fine di ottenere la rinaturazione delle porzioni instabili (vedi tavola descrittiva riportata nella pagina seguente ) (Figura 59, 60, 61 ) .





Figura 59. Rivestimento antiersivo sulla destra orografica del Torrente Bertone.



Figura 60. Rivestimento antiersivo nella parte alta del bacino, sulla sinistra orografica del Torrente Bertone.



Figura 61. Particolare del rivestimento superficiale che mette in evidenza il sottostante terreno colturale ed il sistema di fissaggio delle reti elettrosaldate.

#### 4.4.3. Opere di mitigazione ambientale

Questo intervento non ha funzione strutturale ma è finalizzato alla mitigazione delle opere dal punto di vista ambientale. Considerata la valenza naturalistica e paesaggistica del contesto in cui si inserisce la Val Bertone, si è ritenuto opportuno individuare un sistema di mitigazione ambientale efficace e di semplice realizzazione, da applicare sia alla nuova opera di consolidamento sia a quelle precedentemente realizzate (esclusivamente ai pannelli Erdox).

Si tratta di un mascheramento della parte anteriore delle opere mediante l'utilizzo di elementi in legno; il tutto viene fornito dalla ditta costruttrice in un kit di montaggio composto da pochissimi pezzi e corredato di puntuali istruzioni che rendono estremamente semplice il montaggio (Figura 62, 63, 64, 65, 66).



Figura 62. Pali di larice scortecciati e di diverso diametro.



Figura 63. Posizionamento e fissaggio dei tubolari in acciaio per il sostegno dei pali in larice.



Figura 64. Montaggio dei tubolari in acciaio lungo l'intera barriera di pannelli.



Figura 65. Pannello Erdox completamente rivestito con i pali in larice.



Figura 66. Visione d'insieme dei pannelli Erdox rivestiti con i pali in larice.

#### 4.4.4. Cenni sulle modalità di accesso al cantiere.

La zona sottoposta ad intervento ha presentato particolari problemi di accesso al cantiere, sia a causa dell'elevata pendenza media (60-70%) della zona sia a causa della mancanza di spazio utile per creare una pista d'accesso carrabile per macchine operatrici di medie dimensioni; per questo motivo si è deciso di creare una pista d'accesso di circa 2 m sulla destra orografica del torrente Bertone e di effettuare le varie opere di movimento terra con uno scavatore di piccole-medie dimensioni; si è inoltre deciso, mediante l'utilizzo di un elicottero, di portare direttamente sul luogo di posizionamento i pannelli Erdox Junior, la perforatrice ed il legname utilizzato per il rivestimento.

Quest'ultima scelta di intervento ha incrementato lievemente i costi totali di realizzazione dell'opera ed i costi relativi alla gestione della sicurezza sul cantiere ma ha consentito una realizzazione più rapida e meno impattante dell'opera.

### 4.5. Considerazioni finali

Dall'analisi dell'evoluzione complessiva della Val Bertone dal 1930 ad oggi è emerso che:

- Le opere realizzate dal Corpo Forestale dello Stato hanno fin dall'inizio svolto un adeguato ruolo di mitigazione del rischio e del naturale evolversi della valle; successivamente però, probabilmente a causa della scarsa manutenzione e degli effetti di Granular Debris Flow, le suddette opere hanno subito gravi danni strutturali tali da renderle completamente inutili e talvolta elementi incrementali di rischio.
- Le opere realizzate nel 2008 dallo Studio Conti a correzione della sopradescritta situazione si sono rivelate efficaci sistemi di contenimento e riprofilatura del fondo del Torrente Bertone. I pannelli Erdox installati sono risultati molto efficienti grazie alle loro caratteristiche di flessibilità ed elevata capacità drenante non manifestando fino ad oggi problematiche o disfunzioni. Va però evidenziata una particolare problematica di iniziale scalzamento al piede di una serie di pannelli dovuti sia ad una, localizzata, pendenza eccessiva del fondo sia ad una fuoriuscita in pressione dell'acqua proprio al piede dei pannelli stessi. Si è comunque riscontrato una tendenza all'equilibrio della Val Bertone con sensibile attenuazione dei fenomeni di trasporto solido in alveo e ragionevole riduzione del pericolo potenziale. Rimane comunque di elevata entità il fenomeno di erosione superficiale dei versanti.

- Per sanare i localizzati fenomeni di erosione al piede si è realizzata una nuova balzata sostenuta da 3 pannelli Erdox Junior mentre per attenuare l'erosione di versante si è intervenuti sulle 2 porzioni di versanti con caratteristiche morfologiche migliori.

Proprio in merito a queste ultime opere realizzate è indispensabile portare all'attenzione dell'ente appaltante (CM Valletrompia), alcuni rilevanti difetti realizzativi emersi a seguito della mia verifica in loco a lavori terminati e che potrebbero mettere seriamente in discussione la funzionalità delle opere stesse, andando in questo modo ad incrementare la pericolosità potenziale dell'area.

In particolare i difetti realizzativi riscontrati sono:

- Pericolosi fenomeni di franamento di materiale ai lati dei pannelli che potrebbero causare pericolosi fenomeni di aggiramento delle opere o potenziale svuotamento improvviso in occasione di fenomeni intensi o di piena ordinaria (Figura 67, 68, 69, 70).



Figura 67 e 68. Franamenti di materiale ai lati della fila di pannelli consolidatori.



Figura 69 e 70. Franamenti di materiale ai lati della fila di pannelli consolidatori.

- In un caso particolare, il franamento di materiale ai lati dei pannelli, andrebbe nel breve periodo a far mancare terreno di supporto al rivestimento antierosivo realizzato nelle parte superiore (Figura 71); in questo modo si andrebbe a compromettere la stabilità del suddetto rivestimento unitamente alla funzionalità dei pannelli consolidatori.



Figura 71. In evidenza è possibile vedere la zona che presenta un accentuato franamento di materiale.

- A seguito della riprofilatura dell'alveo nella zona di intervento è possibile osservare che le opere sono state eccessivamente riempite con materiale di riinterro fino a superare talvolta il filo dell'altezza dei pannelli (Figura 72). Questo materiale in eccesso va eliminato altrimenti, come si sta già verificando, andrà ad occupare lo spazio tra il pannello ed i tronchi in larice, compromettendo la stabilità di alcuni di questi non debitamente fissati a regola d'arte. (Figura 73).



Figura 72. Fila di pannelli con un'eccessiva quantità di materiale di riempimento.



Figura 73. In rosso è evidenziato il filo esterno del pannello che è stato superato dal materiale di riempimento che perciò è andato ad occupare l'intercapedine tra il pannello Erdox ed i pali di larice.

- Le briglie in CLS nella parte alta del bacino risultano ancora fortemente sovra alluvionate contenendo molto materiale potenzialmente mobilizzabile a valle da portate di piena ordinarie o in occasione di fenomeni intensi (Figura 74 e 75).



Figura 74. Quantità di materiale che sovra alluviona la briglia.





Figura 75. Briglie in CLS, sovrastanti i pannelli Erdox, che risultano eccessivamente sovralluvionate

- Risulta ancora presente una notevole superficie di versante in forte erosione (Figura 76 e 77) che necessiterebbe di un adeguato intervento di rivestimento per la mitigazione del fenomeno.



Figura 76. Porzione di versante, sulla destra orografica del torrente Bertone, con intensi fenomeni di erosione superficiale.



Figura 77. Porzione di versante, sulla sinistra orografica del torrente Bertone, con intensi fenomeni di erosione superficiale.

Va comunque detto che l'intervento di rivestimento dei pannelli con pali di larice ha portato una buona mitigazione visiva delle opere favorendone l'inserimento ambientale. È inoltre concettualmente onesto ipotizzare che, una volta corrette le inesattezze costruttive, anche ai pannelli consolidatori Erdox è possibile assegnare un più che soddisfacente grado di utilità e funzionalità delle opere.

## 4.6. Possibili alternative di intervento

Previa valutazione dell'effetto di un'eventuale colata proveniente dal torrente Bertone sull'intero sistema del torrente Garza è possibile proporre le seguenti alternative di intervento:

1. Opzione Zero, cioè non fare nulla lasciando la valle libera di seguire le proprie dinamiche evolutive naturali; questa proposta può essere considerata soltanto dopo che si ha avuto la certezza, a seguito di indagini mirate, che la rimanente parte dei fenomeni di dissesto compresi nel bacino idrografico del torrente Garza siano stati compiutamente colmati. Se tali condizioni sono soddisfatte è possibile ipotizzare che, data l'esigua superficie della Val Bertone e la sua modesta capacità produttiva, il torrente Garza sia in grado di gestire senza problemi la produzione solida della Val Bertone prevedendo, in via preventiva, azioni programmate di rimozione dell'eventuale materiale in eccesso depositato ai piedi della valle e nell'alveo del torrente Garza. In questo caso è inoltre consigliabile procedere preventivamente alla sistemazione delle opere trasversali (briglie e soglie) presenti nell'alveo del torrente Garza che allo stato attuale necessitano di un'ordinaria manutenzione.
2. Inerbimento con specie erbacee ed arbustive idonee alla colonizzazione del sito mediante idrosemina complessa (collante, ammendante, ecc..) da elicottero per raggiungere i punti diversamente inaccessibili e che sono quelli che continuano a produrre materiale. Il punto chiave, oltre all'analisi economica, è la scelta delle specie da seminare che presuppone un approfondimento sulle caratteristiche chimico-fisiche del substrato e il reperimento dei semi (eventualmente producendoli appositamente). Un aiuto può venire da esperienze di recupero cave che spesso presentano ambienti pedoclimatici simili alla val Bertone.

3. Nel caso in cui, la precedente alternativa proposta di intervento risulti non attuabile, è possibile considerare l'opportunità di intervenire con stesura di reti da abbinare all'idrosemina, partendo dall'alto e con tecniche alpinistiche (stessa tecnica adottata per le reti su scarpata verso strada).

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Ferro, V., Dalla Fontana, G., Pagliara, S., Puglisi, S., Scotton, P., (2004) **Opere di sistemazione idraulico-forestale a basso impatto ambientale**, McGraw-Hill, Milano;
2. Ferro, V., (2002) **La sistemazione dei bacini idrografici**, McGraw-Hill, Milano;
3. Helgard Zeh (1997) **Tecniche di ingegneria naturalistica**, Il verde editoriale, Milano;
4. Armanini, A., (1999) **Principi di idraulica fluviale**, Editoriale Bios, Cosenza;
5. Bischetti, G.B., (2010) **Appunti del corso di Idraulica Agraria**, anno accademico 2010/2011;
6. Bischetti, G.B., (2010) **Appunti del corso di Sistemazioni Idraulico-Forestali**, anno accademico 2010/2011;
7. Bischetti, G.B., D'Agostino, V., (2010) **Sistemazioni Idraulico Forestali: Indirizzi per gli interventi**, n.116- giugno 2010;
8. Lenzi, M.A., D'Agostino, V., Sonda, D., (2000) **Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti**, Editoriale Bios, Cosenza;
9. Provincia di Brescia (2011), Sistema Informativo Territoriale: [www.sit.provincia.brescia.it](http://www.sit.provincia.brescia.it);
10. Ersaf Lombardia, Sito internet: [www.ersaf.lombardia.it](http://www.ersaf.lombardia.it);
11. Regione Lombardia (2011), Sito internet: [www.cartografia.regione.lombardia.it](http://www.cartografia.regione.lombardia.it);