



Università
Ca' Foscari
Venezia

Corso di Laurea magistrale (*ordinamento ex D.M. 270/2004*)

In Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e il Territorio LM-75

Tesi di Laurea

Il dissesto idrogeologico in bacini montani nella provincia di Belluno: analisi di alcuni casi specifici, cause e soluzioni.

—

Ca' Foscari
Dorsoduro 3246
30123 Venezia

Relatore

Ch. Prof. Angelo Rubino

Contro Relatore

Ch. Prof. Claudio Bini

Contro Relatore

Ch. Prof. Emanuela Molinaroli

Laureando

Michele Sacchet

Matricola 810519

Anno Accademico

2012 / 2013

Sommario

Introduzione e obiettivi dello studio	5
Concetti fondamentali	8
Il ruolo della vegetazione.....	11
Fenomeni erosivi nei corsi d'acqua alpini	13
Versante.....	14
Cause di dissesto nei versanti.....	15
Alcuni tipi di opere di sistemazione	17
Le attività del Servizio Forestale Regionale legate agli scopi della tesi.	23
Risultato dei rilievi	25
Iter del progetto.....	25
Casi di studio.....	27
Caso 1: torrente Tela, Chies d'Alpago; relazione geomorfologica e idraulica.....	29
1.1 Caratteristiche del bacino.....	30
1.2 Analisi geologica	30
1.3 Valutazione della portata di piena.....	31
1.4 Verifica della sezione di progetto	36
Caso 2: Località Poiatte, Farra d'Alpago	39
2.1 Analisi preliminare.....	39
2.2 Progettazione e posa in opera di una briglia di contenimento per limitare l'erosione	40
2.4 Progettazione e posa in opera di una gabbionata di sostegno per scongiurare il cedimento di un versante	42
Caso 3: Località Bastiani, Puos d'Alpago.....	43
3.1 Analisi preliminare	43
3.2 Manutenzione di un canale per evitare un eccessivo ristagno di acqua.....	43
Caso 4: Torrente Valda, comune di Puos d'Alpago	45
4.1 Analisi preliminare	45
4.2 Ripristino di un canale per ridurre il cedimento alla base di un argine.....	46
Caso 5: Fortogna, comune di Longarone.....	49
5.1 Analisi preliminare	49
5.2 Messa in opera di briglie in legname e pietrame "Arcie" per limitare l'erosione.....	52
5.3 Svotamento di una vasca di decantazione riempitasi a seguito di eccessiva sedimentazione	55
Caso 6: frazione di Bivai, Comune di Santa Giustina	57
6.1 Analisi preliminare	57

6.2 Creazione opere di trattenuta per limitare lo smottamento in un versante	57
Caso 7: Cassani, di Ponte nelle Alpi e torrente Missiaga, di La Valle Agordina.....	59
7.1 Analisi preliminare	59
7.2 Taglio della vegetazione lungo l'alveo per evitare possibili sbarramenti	59
Caso 8: località Vallenzai, comune di Mel	61
8.1 Analisi preliminare	61
8.2 Rinforzo e ripristino di un argine a seguito di un'intensa erosione	61
Caso 9: Arsiè, comune di Ponte nelle Alpi	63
9.1 Sviluppo di un evento franoso a seguito di abbondanti precipitazioni.....	63
Caso 10: Località Ronch, comune di Sovramonte	65
10.1 Analisi preliminare alla VINCA per la manutenzione di un sentiero, a seguito dello scivolamento di una parte di versante.....	65
10.2 Procedura seguita	65
Conclusioni	67
Bibliografia e webgrafia (in ordine di apparizione)	71
Allegato I: Visura immobili	
Allegato II: Cartina di Chies d'Alpago	
Allegato III: Carta geologica Chies d'Alpago	
Allegato IV: Cartina di Poiatte (Farra d'Alpago)	
Allegato V: Carta geologica Poiatte (Farra d'Alpago)	
Allegato VI: Cartina della località Bastiani (Puos d'Alpago)	
Allegato VII: Carta geologica località Bastiani (Puos d'Alpago)	
Allegato VIII: Cartina di Puos d'Alpago, evidenziato il tratto di torrente in esame	
Allegato IX: Carta geologica del bacino del torrente Valda (Puos d'Alpago)	
Allegato X: Cartina della zona di Fortogna (Longarone)	
Allegato XI: Cartina IGM della zona di Fortogna (Longarone)	
Allegato XII: Carta geologica di Fortogna (Longarone)	
Allegato XIII: Cartina della frazione di Bivai (Santa Giustina)	
Allegato XIV: Cartina della zona di Arsiè (Ponte nelle Alpi)	
Allegato XV: Cartina de La Valle Agordina	
Allegato XVI: Cartina della frazione di Vallenzai (Mel)	

Introduzione e obiettivi dello studio

“Le attività umane spesso tendono a incidere su territori intrinsecamente predisposti a fenomeni di degrado dei suoli e di dissesto geomorfologico e idraulico.”¹

Questa frase di apertura dà il senso di quanta attenzione debba essere posta nella costruzione e manutenzione di opere umane su un territorio, come quello di gran parte della penisola italiana, già predisposto a problemi di dissesto idrogeologico.

In passato questi fenomeni sono stati spesso contrastati con specifiche pratiche agricole e forestali, per esempio instaurando una rete di regimazione delle acque, di stabilizzazione dei versanti e/o di mirati interventi di sistemazioni agrarie, compresa la bonifica.

Dal dopo guerra però, lo sviluppo economico ha prodotto un'enorme crescita dei centri urbani e dell'industria. Tale crescita ha portato, a poco a poco, a un abbandono dell'attività agro-silvo-pastorale, con una drastica riduzione del controllo della funzionalità del territorio.

Soluzioni costruttive non razionali hanno alterato la capacità di ritenuta idrica del terreno, con conseguente aumento degli eventi franosi nelle aree di montagna o di collina o comunque di versanti ripidi e di esondazioni e alluvioni nelle zone pianeggianti dei corsi d'acqua.

Ad aggravare la situazione è sopravvenuta anche una crescente meccanizzazione delle pratiche agricole con conseguente diminuzione del numero delle persone che, con il loro lavoro, soprattutto in ambiente montano, garantivano una corretta gestione del territorio.

Tutto ciò assume un significato ancora più drammatico quando variazioni climatiche repentine esasperano le criticità già consistenti di un determinato ambiente.

E' ancora molto vivo il ricordo delle tragedie avvenute in Sardegna e in Veneto. A titolo di esempio, il 19-11-2013 Il giornale.it, titolava così:

“La tempesta devasta la Sardegna: 16 morti, devastazioni e dispersi.

Allagamenti, frane e black-out: il ciclone Cleopatra mette in ginocchio l'isola. In 24 ore la pioggia di sei mesi. Oltre 2.700 sfollati.”²

Queste ultime tragedie vanno ad aumentare il già alto bilancio in vite umane registrato negli ultimi anni. Anche la conta dei danni sociali, materiali ed economici, è senza dubbio molto pesante.

Si stima che circa il 70% dei comuni del Belpaese sia a rischio idrogeologico; di questi, 1700 circa sono a rischio frane, mentre 1285 circa a rischio alluvione³. Da alcuni anni si stanno ricominciando a considerare con grande attenzione gli interventi di manutenzione e tutela del

¹Bazzoffi P, Ciccarese L. et Al. 2013 “Linee guida per la valutazione del dissesto idrogeologico e la sua mitigazione attraverso misure e interventi in campo agricolo e forestale” a cura di ISPRA

²Sergio Rame ilgiornale.it 19/11/2013

³<http://www.meteogiuliacci.it/>

territorio, anche per l'ovvia, ma spesso trascurata, ragione che un lavoro di prevenzione ha un costo nettamente inferiore a quello di un'ineludibile ricostruzione.

Un altro punto che mi ha spinto ad approfondire questo lavoro è che bisogna imparare dal passato. Quest'affermazione, pur sembrando banale, racchiude una grande verità.

Nell'ambito della difesa idrogeologica, si possono riscontrare dei casi in cui questa frase non viene considerata.

Ad esempio, durante la stesura dell'elaborato, il 4 febbraio, dalla Marmolada si è staccata una voluminosa valanga. Questa valanga ha travolto la seggiovia del Padon, lo skilift Arei e il rifugio Tabié Palaza, danneggiandolo gravemente. Il caso, per fortuna, non ha coinvolto persone però ha un precedente molto tragico, come si può leggere su un articolo presente sul giornale locale *L'Amico del Popolo* del 20 febbraio 2014.

Nel 1916, il 9 marzo, durante la prima guerra mondiale, una valanga travolse alcuni baraccamenti posti proprio nelle vicinanze dell'attuale rifugio. Nelle baracche erano presenti i fanti del 51° Fanteria Brigata Alpi. A seguito della valanga sono stati contati almeno 150 morti. *"Alcuni abitanti di Sottoguda avevano avvisato gli ufficiali della pericolosità del luogo ed erano stati tacciati di collaborazionismo con il nemico"*⁴. Questi sono stati entrambi eventi eccezionali, però entrambi ci confermano come sia importante la memoria verso gli eventi del passato anche in ambito idrogeologico.

Nel presente lavoro si discutono alcuni problemi di natura idrogeologica, a scala locale, sorti negli ultimi anni nel territorio della provincia di Belluno, ne vengono esaminate le cause e si individuano possibili rimedi nell'ambito e nella tipologia degli interventi competenti al Servizio Forestale di Belluno della Regione Veneto.

Nello specifico, sono state esaminate quattordici situazioni diverse relative a dissesti idrogeologici nei comuni di Chies d'Alpago, Farra d'Alpago, Puos d'Alpago, Longarone, Ponte nelle Alpi, la Valle Agordina, Santa Giustina, Mel e Sovramonte e sono illustrati gli interventi risolutivi attuati o progettati tra i mesi di marzo e maggio 2013 per opera del Servizio Forestale Regionale.

Il panorama comprende briglie in calcestruzzo e in legname, vasca di accumulo, canalizzazioni di vario tipo, consolidamento di versanti.

Per alcuni progetti sono state fatte indagini di tipo morfologico, pluviometrico e idrologico.

I mesi indicati corrispondono al mio tirocinio presso l'ente regionale. Nel periodo iniziale molte zone della provincia si presentavano ancora coperte di neve a causa dei fenomeni di innevamento tardivi. Alcuni cantieri, che in quel periodo dovevano essere operativi, sono stati ritardati per questo motivo. Di conseguenza anche il presente studio ha subito dei rallentamenti.

⁴Giorgio Fontanive "La valanga mortale della Grande Guerra", *L'Amico del Popolo* del 20 febbraio 2014 – N.8

A seguito del tirocinio ho avuto modo di ampliare la ricerca analizzando esempi che presentavano aspetti particolari dal punto di vista geomorfologico, storico e tecnico e un caso di dinamica di un moto franoso in atto.

Il tutto ha permesso al sottoscritto di ampliare le proprie conoscenze nell'ambito dei dissesti idrogeologici e delle sistemazioni idraulico – forestali.

Per ognuno dei casi esaminati, il metodo di lavoro è articolato nei passi seguenti:

a) Il territorio nel quale il dissesto si è manifestato è stato oggetto di un'attenta opera di ricognizione. Ai dati rilevati direttamente sul terreno, è stata affiancata una ricerca bibliografica che ha permesso di accrescere la conoscenza generale del problema e dei fenomeni a esso collegabili. La ricognizione, che nei casi specifici del lavoro sarà presentata dettagliatamente, è stata corredata da analisi quantitative e stime basate anche su rilievi fotografici della zona.

b) Sono state individuate le cause del dissesto e sono stati cercati casi simili nella letteratura esistente.

c) Su questa base sono state identificate alcune soluzioni possibili, anche a proposito della loro fattibilità nell'ambito delle competenze e della disponibilità economica del Servizio Forestale.

Alla fine l'efficacia delle soluzioni individuate, nei casi in cui esse siano state effettivamente realizzate, è stata testata e, in alcuni casi, sono state individuate soluzioni alternative.

Sono stati presi in esame problemi molto diversi tra loro, in modo da avere una panoramica più ampia possibile, anche se, evidentemente, incompleta, degli ambienti in cui si sono manifestati, delle cause che li hanno provocati, degli inconvenienti assolutamente da evitare o da risolvere se l'evento è già accaduto. Di conseguenza anche le soluzioni proposte sono state varie.

Sono stati studiati esempi di interventi, presenti in zona, realizzati in passato, simili a quelli progettati, per verificare se erano stati costruiti a regola d'arte, se erano stati correttamente dimensionati e quindi se avevano assolto positivamente la propria funzione. In caso contrario si sarebbe dovuto individuare il punto debole della sistemazione.

Il lavoro è strutturato come segue: dopo una breve panoramica dei fenomeni idrologici più direttamente collegati ai casi in esame, sono stati presi in considerazione alcuni aspetti generali relativi ai fenomeni di dissesto osservati più frequentemente nei corsi d'acqua alpini e alcuni criteri generali utili per effettuare interventi preventivi su di essi.

Sono stati poi illustrati alcuni problemi legati a movimenti di versante simili a quelli sopravvenuti nei casi analizzati. Tale divisione si è resa necessaria perché le cause e quindi gli interventi realizzabili per contrastare i problemi idrogeologici sui corsi d'acqua possono essere differenti dai problemi sui versanti.

Al fine di discutere in dettaglio gli interventi posti in essere, vengono presentate le attività del Servizio Forestale Regionale legate agli scopi della tesi e gli strumenti utilizzati durante i rilievi preventivi.

Il presente studio descrive poi dettagliatamente i vari interventi, divisi per area geografica. È stata colta l'occasione per presentare alcuni casi di dissesto verificatisi in occasione degli eccezionali eventi meteorologici di febbraio 2014, in comune di Ponte nelle Alpi (BL), corredati delle relative foto.

Nelle conclusioni si discute l'efficacia dei vari interventi già realizzati.

Concetti fondamentali

Nell'evoluzione del paesaggio, della quale l'Uomo ha interesse a controllare le dinamiche per accrescere il proprio benessere, l'acqua svolge un ruolo fondamentale.

“L'idrologia è la scienza che tratta delle acque terrestri, della loro comparsa, della circolazione e distribuzione sul pianeta, delle proprietà chimiche e fisiche e delle interazioni con l'ambiente fisico e biologico, senza dimenticare le reazioni alle alterazioni antropiche.”⁵

L'idrogeologia è la *“branca dell'idrologia che, tenendo conto della natura geologica del suolo, studia i caratteri fisici, chimici e biochimici delle acque al fine di una loro utilizzazione e regolazione.”⁶*

Il bacino idrografico o imbrifero è *“la porzione di superficie terrestre, limitata dalla linea di displuvio o spartiacque, entro la quale si raccolgono e defluiscono le acque derivanti dalle precipitazioni liquide (pioggia), dallo scioglimento delle nevi o da eventuali sorgenti.”⁷* La Figura 1⁸ mostra alcune parti di un bacino idrografico. In particolare, il limite o spartiacque superficiale, che può essere differente dal limite sotterraneo, è chiaramente visibile.

Tutte le acque di un bacino si raccolgono nella sezione di chiusura, identificabile nella Figura 2⁹ dalla freccia nera.

Per identificare il bacino si utilizzano vari caratteri morfometrici. Nel presente studio sono utilizzati i seguenti:

Area o superficie del bacino: *“superficie della proiezione*

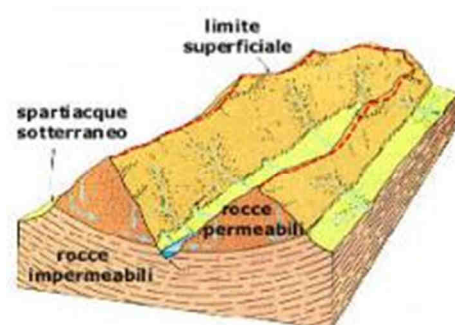


Figura 1: Parti di un bacino.

⁵UNESCO. 1972 “Status and Trends of Research in Hydrology” 1965-1974, UNESCO

⁶<http://dizionarioitaliano.it/>

⁷Ligato D. et al. 2004, “Atlante delle opere di sistemazioni fluviali” APAT dipartimento di difesa del suolo

⁸ Immagine tratta da <http://www.geologia.com/>

⁹ Immagine creata con software GIS

orizzontale del bacino idrografico chiuso alla sezione del corso d'acqua"¹⁰: nella Figura 2 l'area è identificata con i cerchi blu.

Perimetro: "Lunghezza della proiezione orizzontale di tutto il contorno dello spartiacque del bacino idrografico"¹⁰: nella Figura 2 è rappresentato dalla linea blu.

Lunghezza dell'asta (fluviale) principale: "la lunghezza misurata considerando il percorso idraulicamente più lungo partendo dallo spartiacque sino alla sezione di chiusura."¹⁰ L'asta principale è identificata nella Figura 2 dalla linea rossa.

La rete idrografica (o reticolo fluviale) è "l'insieme degli alvei entro i quali scorre l'acqua superficiale."¹⁰ Essa comprende quindi l'asta principale e tutte le ramificazioni secondarie, terziarie ecc. Nella Figura 2, le linee nere marcano alcuni rami del corso d'acqua principale.

Altri due concetti sono indispensabili nello studio di problemi di natura idrogeologica: essi sono la *porosità* e la *permeabilità*.

La porosità è "la caratteristica di una roccia, sia essa sciolta o cementata, di contenere degli spazi vuoti non occupati da sostanza solida; il rapporto fra il volume degli spazi vuoti presenti e il volume totale della roccia è detto porosità totale"¹¹:

$$\phi = \frac{V_p}{V_m}$$

La permeabilità, invece, è "la proprietà caratteristica di certi corpi di lasciarsi attraversare o penetrare da liquidi o gas".¹¹ Lo stesso materiale può quindi essere molto poroso ma pochissimo permeabile o viceversa. L'argilla, ad esempio, presenta elevata porosità, sono presenti cioè molti pori, molti spazi vuoti che possono contenere acqua, ma, come risaputo, essa è pochissimo permeabile a causa della particolare configurazione elettronica degli strati.

La presenza di acqua all'interno del terreno può modificarne le caratteristiche meccaniche, ad esempio la densità e di conseguenza il peso, la plasticità, la resistenza al taglio, alla compressione, l'adesione e la coesione tra le particelle e tra le particelle e la roccia. A basse percentuali, l'acqua favorisce, a volte, la stabilità del suolo, migliorando la coesione, ad alte, invece, generalmente la peggiora, diventando, a volte, causa di smottamento.

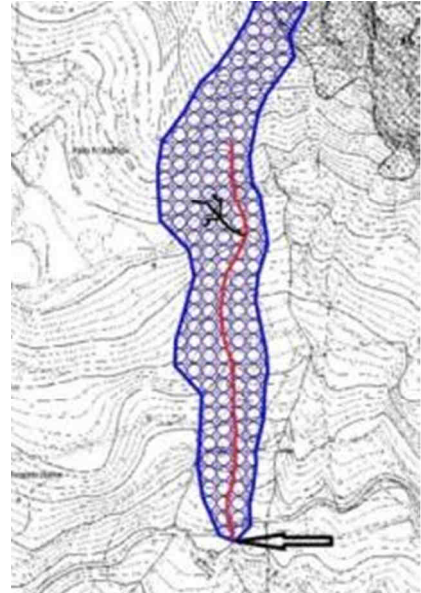


Figura 2: Rappresentazione schematica di un bacino idrografico.

¹⁰<http://pcserver.unica.it/>

¹¹Enciclopedia Treccani

Altri concetti utilizzati nel prosieguo del lavoro sono: *tempo di corrivazione*, cioè “il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.”¹², *pioggia critica*, cioè “la precipitazione massima di durata uguale al tempo di corrivazione, capace quindi di provocare la massima piena del torrente in corrispondenza della sezione considerata.”¹³

La *portata*, in una determinata sezione, è “il volume di acqua, espresso in m^3 , che passa nell’unità di tempo attraverso tale sezione.”¹³

La *portata di massima piena*, invece è “la portata massima che si prevede si possa verificare in una determinata sezione dell’alveo, in funzione della superficie del bacino imbrifero a monte”¹³.

Anche l’*intensità di pioggia* è un concetto importante che verrà esposto nell’elaborato. Questa è “il rapporto fra l’altezza della precipitazione raccolta nei pluviometri, espressa in mm e la durata della stessa, espressa in ore”¹³.

Nel bacino i fattori naturali che ne determinano le variazioni sono prevalentemente legati alle precipitazioni. Queste possono scorrere superficialmente (*ruscellamento* o *runoff*) o essere assorbite dal terreno, alimentando così le acque sotterranee (*infiltrazione*). In generale, la velocità delle acque superficiali è molto maggiore di quelle sotterranee.

La porzione di acqua che non penetra nel terreno, e scorre quindi in superficie, è tanto maggiore quanto più il terreno è impermeabile o già imbibito d’acqua.

Un fattore di grande importanza per determinare la percentuale relativa tra le componenti della precipitazione è la *pendenza*. Su terreni molto pendenti l’acqua scorre soprattutto superficialmente, non avendo tempo sufficiente per penetrare copiosamente nel suolo.

Il ruscellamento o l’infiltrazione dipendono dalle caratteristiche e dal tipo di substrato, ma anche dalla copertura presente sul terreno.

Il cemento e l’asfalto, per esempio, creano uno strato con permeabilità molto ridotta; quindi nelle città e nei centri abitati la maggior parte della precipitazione entra nel ciclo superficiale per ruscellamento, mentre nei suoli di ambienti meno antropizzati, in generale, la quantità di acqua che si infila è maggiore.

¹²C.T. Haan, B.J. Barfield, J.C. Hayes, 1994 “Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments” Academic Press

Il ruolo della vegetazione

Nell'ambito dello stesso terreno, possono sussistere differenti rapporti tra infiltrazione e ruscellamento, anche in funzione della copertura vegetale sovrastante. Infatti *“le caratteristiche della vegetazione influenzano le condizioni ecologiche. [...] Inversamente il tipo e l'intensità dei processi erosivi condizionano la presenza di alcune specie vegetali, [...] La vegetazione determina un'azione di schermo contro i processi di disgregazione fisica”*.¹³

A bassa pendenza, se è presente vegetazione, soprattutto arborea, l'acqua che precipita è rallentata e il terreno sottostante ha più tempo per assorbirla. Se il terreno è nudo e incolto invece, l'acqua arriva al suolo con tutta l'energia cinetica che ha accumulato durante la caduta e il terreno non riesce ad assorbire così velocemente la pioggia. L'energia rilasciata nell'urto delle gocce col suolo facilita inoltre l'erosione mettendone in movimento le particelle.

Quindi *“la funzione protettiva del bosco si esercita mediante l'intercettazione delle precipitazioni da parte degli apparati fogliari e la riduzione dello scorrimento superficiale delle acque. [...] La copertura continua delle chiome rallenta la velocità di caduta delle gocce d'acqua sul terreno, specialmente durante fenomeni di intensa precipitazione. [...] Nei terreni forestali la porosità si mantiene elevata grazie all'attività degli apparati radicali e della pedofauna [...]. Gli apparati radicali [...] trattenendo il terreno tra le loro fittissime ramificazioni riescono a rallentare l'insorgere dell'erosione.”*¹³

Il bosco non può, però, trattenere le superfici di scorrimento più profonde delle radici degli alberi e volumi di materiale maggiori di quelli occupati dalle radici. In questi casi la copertura arborea, anche a causa del forte peso dell'insieme pianta – terreno – acqua, può, in alcuni casi, addirittura peggiorare la stabilità del versante, come si vedrà in un esempio concreto che sarà descritto in seguito. Anche le varie forme di *governo*¹⁴ e di *trattamento*¹⁵ del bosco determinano effetti diversi sulla difesa del suolo. A livello di governo, infatti, la fustaia, originata da seme, assicura una protezione del suolo sensibilmente maggiore a quella del ceduo, riprodotto da gemma.

Nell'ambito della fustaia, *“il trattamento a taglio raso determina una scarsa protezione, il trattamento a tagli successivi una sufficiente protezione, il taglio saltuario o a scelta (come quello praticato nella maggior parte dei boschi bellunesi) un'ottima protezione del suolo”*.¹³

Inoltre *“l'aumento della copertura, sia erbacea sia arborea e quindi dell'indice di boscosità, contribuisce notevolmente ad aumentare il tempo di corrivazione.”*¹³

¹³Panizza M. 2007, “Geomorfologia” Pitagora Editrice Bologna

¹⁴ “Il governo è il modo con cui un bosco viene rinnovato e dipende dal tipo di propagazione delle piante” <http://www.agraria.org/>.

¹⁵ “Modalità seguita nel taglio o abbattimento delle piante” <http://www.agraria.org/>.

Fenomeni erosivi nei corsi d'acqua alpini

L'erosione, cioè "l'azione abrasiva esercitata in vario modo sulla parte superficiale della litosfera"¹¹, può risultare dall'azione di un insieme di più fattori fisici oppure chimici ed è una causa importante di molti fenomeni di dissesto idrogeologico.

I fenomeni fisici riguardano "una progressiva frantumazione del materiale da tipi litologici più compatti e resistenti ad altri che lo sono meno, accompagnata dall'allontanamento dei prodotti dalla zona di formazione"¹¹.

Nei processi chimici è implicata una modificazione chimica più o meno profonda, che a volte può addirittura portare ad accrescere la coesione del restante materiale roccioso, come nel caso della cementazione.

Spesso l'erosione è causata dalla porzione di acqua che scorre superficialmente e, in misura differente, anche da quella sotterranea. Può avere diverse azioni che, nell'ambito dei tratti montuosi dei corsi d'acqua, si manifestano in varie forme. Ne vengono indicate alcune, a titolo di esempio.

- Lo sbocco del corso d'acqua sul conoide di deiezione, "un deposito a forma conica o a ventaglio, con apice rivolto a monte e con profilo trasversale convesso, derivante dall'accumulo di materiale detritico, proveniente dalle parti superiori del bacino"¹¹ trova un'invalveazione eccessivamente ridotta.
- Il profilo del corso d'acqua, che normalmente dovrebbe essere parallelo alla linea di massima pendenza, risulta alterato a causa dell'eccesso di materiale accumulato a valle.
- Gli ostacoli, ponti, condotti o materiale vegetale, presenti in alveo possono intasarsi e creare uno sbarramento.
- L'aumento della portata a seguito della confluenza di diversi corsi d'acqua.
- L'eccessiva velocità dell'acqua, determinata dalla mancanza di meandri, di attriti con il fondale (per esempio in presenza di un alveo cementato), ma specialmente dalla pendenza. Nella Figura 3¹⁶ Sono schematizzate le distribuzioni tipiche della velocità di un corso d'acqua secondo la sua sezione.

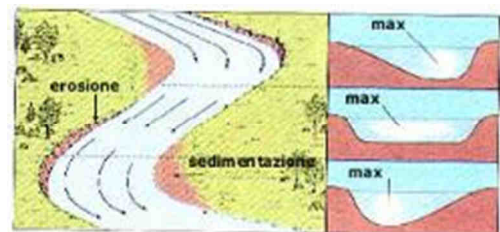


Figura 3: Distribuzione velocità in un corso d'acqua, sulla destra diversi profili dell'alveo.

L'equilibrio tra l'acqua e il terreno si può percepire anche visivamente. La limpidezza dell'acqua indica che, rispetto alle dimensioni e alle caratteristiche delle particelle presenti, la sua

¹⁶ Immagine tratta da <http://www.geologia.com/>

forza erosiva è prossima allo zero e quindi, per quella quantità di acqua, non c'è in pratica trasporto solido di elementi più piccoli che provocherebbe torbidità visibile.

Versante

Il termine versante indica “ciascuno dei fianchi di un monte o di una catena montuosa rispetto alla linea di displuvio”⁶.

Il versante è determinato da tre caratteristiche:

L'*altezza* o differenza di quota; la *lunghezza*, cioè la distanza planimetrica tra le due estremità; l'*inclinazione* α , cioè “l'angolo tra il piano orizzontale e il versante stesso se questo ha profilo rettilineo.”¹³ (Figura 4)¹⁷. Quest'ultimo è calcolabile come rapporto tra dislivello e distanza planimetrica tra due punti, come tangente trigonometrica dell'angolo α .

Il *profilo*, cioè la linea ottenuta dall'intersezione tra il versante e il piano orizzontale, può presentarsi in diverse forme: rettilineo, convesso o concavo, oppure complesso. Per ogni profilo si può definire la *cresta* (parte superiore), il *piede* (tratto inferiore) e il *tratto intermedio*.

Attraverso lo studio geomorfologico dei versanti si possono comprendere le cause che hanno determinato le forme succedutesi nel tempo.

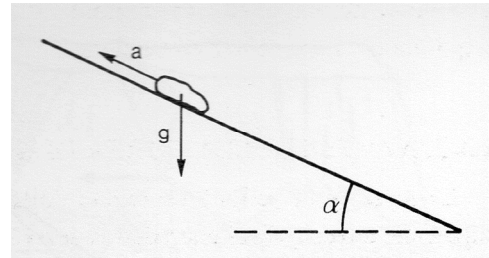


Figura 4: Componenti che determinano il movimento o la stasi delle rocce.

¹⁷ Immagine tratta da Panizza 2007 (nota bibliografica 13)

Cause di dissesto nei versanti

La *degradazione* nei versanti si manifesta come passaggio di materiale dalla testa al piede. Oltre che di degradazione, per i versanti si può parlare di *aggradazione*, ossia “l’insieme dei processi di accumulo alla base dei pendii e di sedimentazione in aree più a valle”¹³. Il risultato dell’aggradazione e della degradazione è il *modellamento dei versanti*.

Il fattore principale che determina degradazione, trattandosi di zone non a fondovalle, è la *forza di gravità* (g). Questa porta a valle l’acqua libera e ogni detrito staccato dai processi fisici o chimici.

La forza che vi si oppone è l’*attrito* (a), che contrasta lo scorrimento in modo più o meno marcato, a seconda della consistenza e della forma dei detriti e dalle asperità del piano inclinato. Se l’attrito assume valori elevati, la superficie di scorrimento deve essere più inclinata perché il detrito si metta in movimento.

La *pendenza di distacco* è “l’acclività minima necessaria perché possa iniziare un processo di spostamento di un certo detrito su un certo tipo di versante. Se l’acclività è inferiore, non può verificarsi il distacco di materiale”, mentre la *pendenza di accumulo* è “l’acclività massima alla quale si arresta il movimento di un certo tipo di detrito in movimento su un certo tipo di versante.”¹³

“In natura l’angolo della pendenza di distacco si aggira intorno ai 45°, quello della pendenza di accumulo intorno ai 35°. Naturalmente, i valori indicati si devono intendere quali medie riferite a una grande quantità di situazioni differenti”.¹³ Esse dipendono, come già detto, soprattutto dal tipo di roccia che forma il substrato, dalla forma dei detriti e dalla loro dimensione.

Altri fattori che possono provocare instabilità sono ad esempio gli impulsi meteorologici (quali vento e pioggia, gelate ecc.), tettonici come le scosse di terremoto o biologici come la vegetazione, la presenza di animali, o l’attività umana.

Un’altra causa d’instabilità riguarda il substrato geologico del terreno.

L’evoluzione naturale dei pendii che presentano pendenza simile alle condizioni di distacco, tende ad accumulare materiale al piede del profilo. In questo modo si riduce l’acclività fino ad arrivare a condizioni simili alla pendenza di accumulo. Successivamente si parla di profilo “*regolarizzato*” o di “*Richter*” (Figura 5)¹⁸. Continuando l’accumulo, a volte, si arriva a una condizione di stabilità, e se non si accumula altro materiale e le condizioni climatiche lo

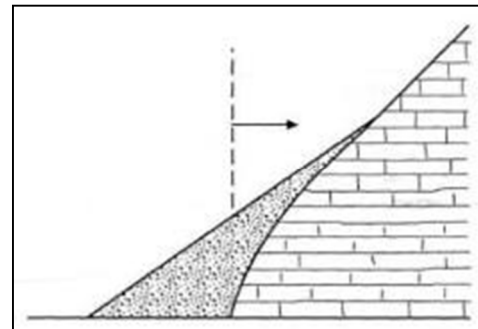


Figura 5: Esempio di profilo regolarizzato, la freccia indica la direzione dell’accumulo di materiale.

¹⁸ Immagine tratta da Panizza 2007 (nota bibliografica 13)

consentono, il piede del profilo regolarizzato può favorire l'attecchimento della vegetazione, con conseguente formazione di suolo.

I versanti possono subire alterazioni e, a volte, anche la vegetazione può diventare un elemento negativo, determinando o aggravando fenomeni di dissesto. I problemi maggiormente riscontrati a causa della vegetazione riguardano l'appesantimento delle masse di terreno e la creazione / allargamento delle fessure nei materiali solidi.

La chioma, soprattutto quando sono presenti le foglie, offre una grande superficie di resistenza al vento, stabilizzante in alcuni casi, ma destabilizzante in alcuni altri. Si ha stabilizzazione, per esempio, quando essa riduce l'erosione causata dai venti frequenti.

Si può avere destabilizzazione, invece, durante fenomeni ventosi eccezionali soprattutto a causa di piante solitarie. L'albero, in questo modo, può comportarsi da leva e sradicarsi formando una cavità, il *chablis*. (Figura 6¹⁹)

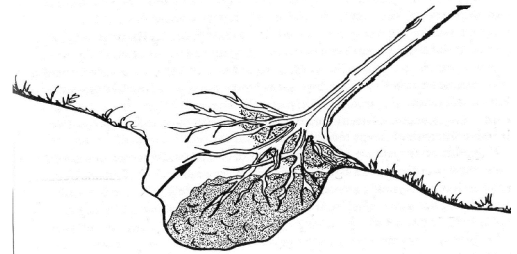


Figura 6: Esempio di chablis, l'albero sradicato dal vento forma una cavità.

¹⁹ Immagine tratta da Panizza 2007 (nota bibliografica 13)

Alcuni tipi di opere di sistemazione

Gli interventi da realizzare devono contrastare efficacemente gli effetti negativi riducendo la *pericolosità*²⁰ (presenza di fattori che possono causare danni) e/o la *vulnerabilità*²¹ (presenza di strutture sensibili).

Per opporsi ai fenomeni idrogeologici avversi, si possono intraprendere interventi strutturali, cioè, per esempio, azioni che apportino modifiche a un corso d'acqua, o non strutturali, ossia provvedimenti che non modifichino la rete idrografica. Per una corretta prevenzione, la prima azione da intraprendere è l'analisi dello storico di eventi problematici, unendo la cartografia geologica della zona interessata con la posizione dei problemi accaduti. In seguito si possono analizzare i profili e la differenza con l'equilibrio di ogni tratto, per identificare quale potrebbe essere l'evoluzione morfologica del corso d'acqua.

L'evoluzione del bacino è inestricabilmente connessa a quantità e velocità dell'acqua che vi transita.

Per ridurre la velocità si può, a volte, agire sulla pendenza. Questo intervento, generalmente, si realizza su tratti brevi.

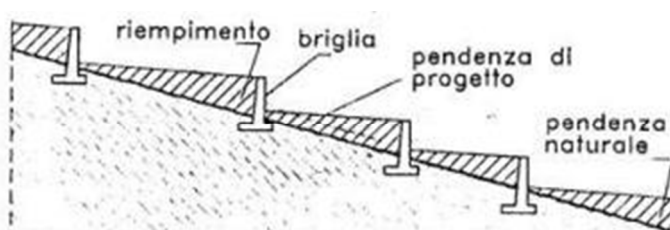


Figura 7: Profilo originario e a seguito della costruzione delle briglie.

Un metodo comunemente usato consiste nella costruzione di *briglie*. Come si vede nella Figura 7,²² la pendenza naturale è maggiore di quella ottenuta a seguito della costruzione delle opere trasversali (pendenza di progetto).

Ci sono anche esempi di soluzioni intermedie, in cui le traverse, vista la distanza alla quale queste sono poste l'una dall'altra, non hanno la finalità di regolare il profilo altimetrico del corso, ma piuttosto quella di rallentare la velocità dell'acqua e di fermare il trasporto solido.

²⁰ "Esprime la probabilità che un fenomeno avvenga in un certo luogo con una certa intensità, in un certo intervallo di tempo" <http://www.protezionecivile.regione.lombardia.it/>

²¹ "L'entità dell'impatto che un potenziale fattore di pericolo può generare su un certo contesto territoriale. È strettamente correlata alla predisposizione intrinseca di tale area a subire danni" <http://www.protezionecivile.regione.lombardia.it/>

²² Immagine tratta da <http://www.altaviamilano.it/>

Briglie

Le briglie sono “opere a parete grossa, trasversali rispetto all'asse del corso d'acqua che ne modificano l'assetto altimetrico con conseguenze sul regime della corrente⁷”, “di altezza inferiore a 15 m.”²³ L'opera va adeguatamente dimensionata, in relazione alla portata del corso d'acqua e solidamente ancorata ai versanti.

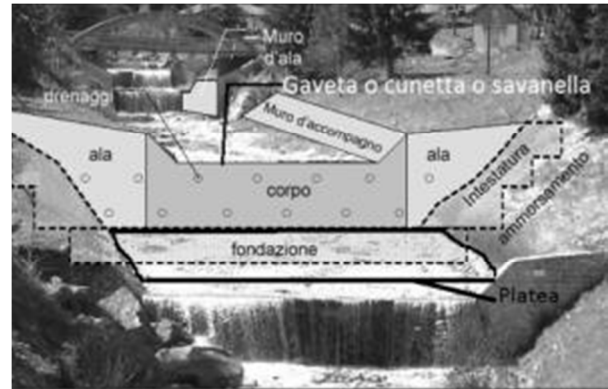


Figura 8: Parti di una briglia.

I materiali impiegati sono molto vari, come si potrà constatare anche dagli esempi che verranno proposti e comprendono, ad esempio, il pietrame a secco, il calcestruzzo con o senza pietrame a vista, il calcestruzzo armato, il legname per le opere di ingegneria naturalistica.

La Figura 8²⁴ presenta una briglia con i suoi elementi essenziali, che sono essenzialmente gli stessi, indipendentemente dalla soluzione costruttiva adottata.

Per evitare l'erosione del corpo della briglia, provocata dal materiale solido trasportato durante gli eventi di piena e garantire quindi una maggior durata dell'opera, la gaveta e le due ali possono essere rivestite con pietre di grosse dimensioni, annegate nel calcestruzzo. Queste sporgono dal corpo della briglia in modo che lo stramazzo cada oltre la parete verticale dell'opera, per non consumarla.

In briglie risalenti a quasi un secolo fa, costruite a regola d'arte e ancor oggi perfettamente efficienti, ogni pietra era lavorata a mano da valenti mastri scalpellini, fino a diventare quasi un'opera d'arte. (si veda ad esempio la Figura 9 per un esempio di briglia risalente al 1930).

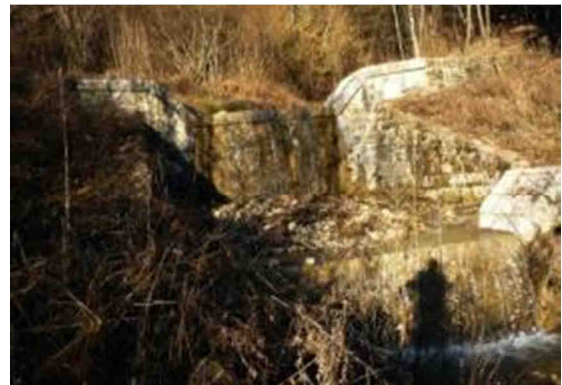


Figura 9: Briglia costruita nel 1930 in comune di Ponte nelle Alpi.

A valle della briglia l'acqua precipita da un'altezza tanto maggiore quanto più elevata è la gaveta della briglia stessa, con un aumento della forza erosiva. Si può quindi costruire una contro-briglia, una traversa di dimensioni minori, che crea le condizioni perché si formi una conca, che, riempiendosi di materiale, dissipa l'energia cinetica accumulata dalla caduta dell'acqua. Così si riduce il fenomeno di sottoescavazione, che provoca un pericolo di scalzamento al piede.

²³Benini, 1972 “L'attuale rinnovamento delle sistemazioni idraulico – forestali”. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. Direzione generale per l'Economia Montana e per le Foreste

²⁴ Immagine tratta da <http://idra.unipa.it/>

L'effetto di dissipazione dell'energia cinetica dovuta al salto dell'acqua si ottiene anche formando un laghetto tra le due opere.

E' possibile rallentare l'erosione spondale nei corsi d'acqua posizionando le briglie non perpendicolari all'asse del corso, ma con la gaveta leggermente rivolta al versante più stabile, per indirizzare in quella direzione l'acqua.

Oltre alle briglie, in cantieri dove si fa un investimento imponente, si possono creare delle opere accessorie per migliorare la stabilità, la durata e la qualità generale dell'opera principale.

Un intervento possibile riguarda le platee, che vengono costruite a valle della briglia per ridurre la sotto-escavazione opponendo una certa resistenza nei confronti dello *stramazzo* ("*Caduta d'acqua*¹¹").

Per essere efficace, la platea deve avere una larghezza almeno uguale alla parte superiore della gaveta, meglio se occupa tutta la larghezza dell'alveo, cosicché tutta l'acqua ci batta sopra.

Anche la lunghezza deve essere sufficiente e adeguatamente calcolata, in quanto la distanza raggiunta dallo stramazzo è strettamente collegata alla velocità dell'acqua.

Un'opera conveniente per attenuare la spinta idrostatica contro la traversa, è, ad esempio, il *vespaio*. Si tratta di un insieme di massi e altro materiale pietroso accumulato a monte della traversa, così l'acqua impatta contro tale materiale e non contro l'opera.

A valle della briglia si possono costruire anche i cosiddetti *muri d'ala*, ulteriori opere accessorie che riducono la possibilità di scalzamenti laterali e favoriscono il consolidamento spondale.

Anche a monte ci possono essere dei muri con caratteristiche simili per "*convogliare la corrente verso la gaveta ed evitare l'aggiramento della spalla, che purtroppo tante volte si verifica, nonostante la generosità avuta nel dimensionamento della gaveta.*¹³"

Le soglie sono un altro modo per ridurre la pendenza del corso d'acqua, anche queste sono opere trasversali. A differenza delle briglie, però, sono delle opere poco o per nulla sporgenti. Il loro principale scopo è la trattenuta del materiale del fondale, la riduzione della pendenza è un effetto secondario.

La riduzione della pendenza è un espediente che si usa spesso anche nei pendii in frana, costruendo delle opere simili alle briglie, in modo da avvicinare la pendenza del versante a quella di equilibrio, per limitare i movimenti franosi già in atto o a scopo preventivo.

L'accumulo di materiale può provocare alcuni problemi in certe situazioni, cioè quando ci sono dei cambi di pendenza o degli sbarramenti, naturali o artificiali.

In questi casi, in tempi medio-corti si potrebbe determinare un innalzamento del fondale e una conseguente esondazione dell'acqua.

Bisogna perciò sviluppare, ad esempio, dei sistemi per trattenere il materiale in maniera controllata. Questi devono però subire un'attenta manutenzione con frequenti svuotamenti, altrimenti gli effetti positivi si potrebbero perdere. Gli intervalli tra gli svuotamenti possono essere molto variabili. Bisogna considerare, però, che maggiore è la frequenza e maggiore è l'efficacia di tali sistemi, tenendo ovviamente in considerazione i costi da sostenere.

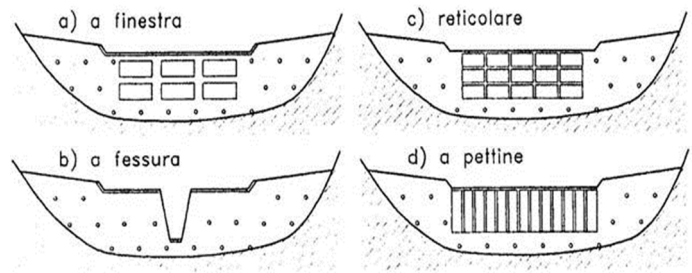


Figura 10: Tipologie costruttive delle briglie di trattenuta.

Per controllare il trasporto solido si possono costruire delle briglie di trattenuta, che lo intercettano assieme al materiale flottante. Tali briglie hanno delle particolari fessure che permettono il passaggio dell'acqua, ma bloccano il materiale più grossolano come legname e pietrame.

Ci sono diverse tipologie di briglie di trattenuta, costruite secondo diversi criteri tra i quali: il materiale da fermare, la quantità, la posizione, la frequenza con cui si svuotano ecc. Si possono trovare briglie - a finestre, - a fessura, - reticolari, - a pettine (Figura 10²⁵).

Le briglie a fessura, opportunamente dimensionate, durante gli eventi di piena, formano un lago a monte, con conseguente diminuzione di velocità dell'acqua e deposito del materiale solido, anche di piccole dimensioni, trasportato. Lo stesso materiale sarà allontanato durante i periodi di "morbida", quando gli inconvenienti possibili sono minori.

Un altro sistema per trattenere il materiale solido è la creazione di una piazza di deposito, una vasca posta sui conoidi o poco a monte, in modo che il materiale si depositi in queste zone lontane da punti sensibili. Anche per le piazze di deposito è molto importante la manutenzione con svuotamento periodico.

Rivestimenti delle sponde

Una conseguenza della velocità troppo elevata, come già detto, è l'eccessiva erosione causata alle sponde, per cui è asportato più materiale di quello depositato. Per ridurre il problema si possono utilizzare diversi tipi di rivestimenti per migliorare la protezione meccanica. Il primo e più semplice è il rinverdimento, che si può però mettere in opera, generalmente, solo sulle sponde asciutte, quindi non è molto utile contro il problema dell'eccessiva erosione dovuto al corso d'acqua, ma serve piuttosto a rallentare l'erosione dovuta alle piogge insistenti sui versanti. *"La copertura vegetale esercita un controllo e una limitazione nei confronti della mobilitazione dei detriti, il terreno viene trattenuto"*¹³. La vegetazione ostacola, infatti, grazie alle radici, la

²⁵ Immagine tratta da Ligato D. et Al. 2004 (nota bibliografica 7)

mobilitazione e il trasporto del materiale e favorisce inoltre l'infiltrazione attraverso i pori creati dalle radici stesse, diminuendo il ruscellamento. Per le sponde dove l'acqua impatta, invece, si possono utilizzare, ad esempio, vari polimeri adagiati e fissati con chiodi.

Per irrobustire le sponde, un metodo molto sbrigativo, ma forse il più impattante, consiste nel rivestirle di una colata di cemento. Il problema del cemento è che è pochissimo permeabile, quindi si possono instaurare delle sollecitazioni a volte problematiche per la stabilità stessa del cemento.

Nei casi di emergenza, per evitare danni peggiori, è possibile coprire temporaneamente la zona superiore del movimento del terreno con telo impermeabile, in modo da favorire l'allontanamento dell'acqua. Si può vedere un esempio di queste lavorazioni di emergenza in Figura 11.



Figura 11: Impermeabilizzazione temporanea con un telo per allontanare l'acqua.

Per dare sostegno e protezione alle sponde, si può intervenire anche con il posizionamento di gabbioni d'acciaio contenenti materiale inerte di diametro sufficientemente elevato da non fuoriuscire dalle maglie [Figura 12]²⁶. Per favorire l'azione stabilizzante, durante il riempimento è preferibile impiegare sassi a spigolo vivo, piuttosto che ciottoli di forma tondeggiante.



Figura 12: Argine in gabbioni, a protezione dall'erosione al piede, di un versante.

Si possono posizionare anche dei massi ciclopici, che presentano un grosso svantaggio se devono essere trasportati da grande distanza.

Per il rivestimento spondale si possono inoltre combinare materiali inerti e vivi.

Arcie

Un intervento di sistemazione e ingegneria naturalistica attuabile sia sul corso d'acqua sia sul versante, che verrà analizzato concretamente, è rappresentato dalle



Figura 13: Resti di Arche di metà 1800 sul Piave presso Longarone.

²⁶ Immagine tratta da <http://www.borghiazio.com/>

“*arche*” o “*arcie*”, che “*derivano da una tecnica di sistemazione fluviale adottata ai tempi della Repubblica di Venezia, per garantire la transitabilità delle zattere. Arca o arcia è un’importante e sapiente opera di ingegneria fluviale, che serviva alla protezione delle sponde, per evitare l’erosione e gli smottamenti. È formata da pali disposti a quadrato o a triangolo, sovrapposti e “inpanadi con broche de casia o de igol” (fissati tra loro con chiodi di robinia o maggiociondolo). Viene fissata sul fondo del fiume con pali chiamati incastri al piede e quindi riempita di grosse pietre.*”²⁷ Nella Figura 13 si possono vedere alcuni resti di Arche costruite nel 1800 sul Piave.

Repellenti

Un altro metodo per proteggere le sponde consiste nell’allontanare il flusso della corrente dai punti più delicati delle sponde attraverso i “*repellenti*”, cioè delle strutture a pettine che partono dalle sponde verso l’asse del torrente, in modo da portare il massimo della velocità al centro e aumentare la sedimentazione sulle sponde. Tali repellenti possono essere posizionati a favore di corrente o controcorrente [Figura 14]²⁸. Lo stesso sistema si adotta sulle spiagge per ridurre l’erosione dovuta alle onde.

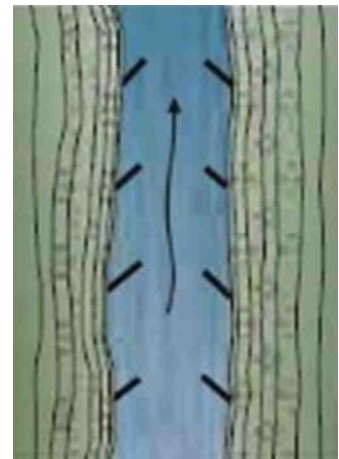


Figura 14: Una tipologia di repellenti allineati in favore di corrente.

²⁷Caniato G. e Dal Borgo M. 1988 “Dai monti alla laguna. Produzione artigianale e artistica del bellunese per la cantieristica veneziana”, Venezia editrice.

²⁸ Immagine tratta da Ligato D. et Al. 2004 (nota bibliografica 7)

Le attività del Servizio Forestale Regionale legate agli scopi della tesi.

Per quanto riguarda la regione del Veneto, le politiche forestali sono attualmente gestite dall'Unità di Progetto Foreste e Parchi, che si avvale del Servizio Forestale Regionale per operare a livello provinciale ed è presso questo ente che ho svolto il mio tirocinio.

Nel 1978 la regione del Veneto ha approvato la legge regionale n.52 che, all'articolo 1 recita: *“La Regione del Veneto, in attuazione di quanto previsto dall'art. 4 del proprio Statuto, promuove la difesa idrogeologica del territorio, la conservazione del suolo e dell'ambiente naturale, la valorizzazione del patrimonio silvo - pastorale, la produzione legnosa, la tutela del paesaggio, il recupero alla fertilità dei suoli depauperati e degradati, al fine di un armonico sviluppo socio - economico e delle condizioni di vita e sicurezza della collettività”*²⁹.

In particolare, la provincia di Belluno è coperta da circa 2.260 km² di foreste, che corrispondono a circa il 61 % del territorio provinciale. Da questi dati si evince che la provincia di Belluno conserva circa il 54% della superficie coperta di boschi ("*boscata*") del Veneto, grazie all'elevata acclività del suo territorio, almeno l'80% della provincia è considerato montano³⁰.

Il settore principale di attività per il Servizio Forestale riguarda la difesa idrogeologica e le sistemazioni idraulico – forestali. Questa competenza del Servizio Forestale regionale è centrale per gli scopi della presente tesi. Tutti gli interventi analizzati sono stati eseguiti dall'estensore della tesi assieme al personale di questo ente regionale.

L'attività del Servizio Forestale in ambito idrogeologico è articolata. La maggior parte degli interventi, comunque, si origina da segnalazioni che possono venire da privati o da enti. A seguito delle segnalazioni si effettua un sopralluogo preventivo, che serve a capire vari aspetti fondamentali del problema, compreso il suo inquadramento operativo, indispensabili per agire poi con azioni il più possibile mirate alla sua soluzione.

Una volta accertato il fatto che il possibile intervento rientri nell'ambito di competenze del Servizio Forestale, si passa ad analizzare più a fondo il problema e i pericoli che da esso possono derivare. Questa è la base per stabilire una lista di priorità degli interventi.

Si identificano quindi: il tipo di intervento, l'accessibilità per eventuali mezzi, le possibili soluzioni attuabili ecc.

Grazie agli strumenti GIS si accerta l'esistenza di vincoli particolari sulla zona in esame.

Infatti, la sede del possibile intervento può essere vincolata dal punto di vista ambientale, cioè ricadere in una zona SIC (Sito di Importanza Comunitario) o in una ZPS (Zona a Protezione Speciale) ossia ricadere nella rete Natura 2000, (direttiva della Comunità Europea n. 409 del 2 aprile 1979 e n. 43 del 21 maggio 1992). In questo caso bisogna procedere con uno screening preliminare per accertare se l'intervento richiede una Valutazione di Incidenza Ambientale VINCA. Una volta

²⁹ L.R. 13 settembre 1978, n. 52

³⁰ Fonte <http://www.webdolomiti.net/>

appurata l'esistenza e la natura di questi vincoli, si può procedere alla prima valutazione di quali opere realizzare e della relativa disponibilità economica.

Strumenti di lavoro: il teodolite

Diverse volte, durante il mio periodo di tirocinio, ho collaborato attivamente ai rilievi eseguiti in forma preventiva assieme ai geometri addetti del Servizio Forestale Regionale. Questa attività mi ha permesso di acquisire una conoscenza dettagliata di queste operazioni.

Per il rilievo dello “*stato di fatto*”, cioè della situazione presente prima di ogni intervento nei luoghi esaminati, ci siamo avvalsi in maniera particolare dell'uso del *teodolite* (Figura 15). Il teodolite è uno strumento ottico in grado di rilevare gli angoli azimutali (piano orizzontale) e zenitali (piano verticale) dello strumento stesso rispetto al prisma riflettente presente su un'opportuna asta posizionata su alcuni punti strategici che poi saranno considerati per dare forma al disegno che schematizza l'area di intervento.

Lo strumento rileva anche la sua distanza dal prisma. I dati si inseriscono nel computer che elabora una tabella simile alla Tabella 1.

La tabella sottostante, portata come esempio dell'uso concreto del teodolite, contiene i dati ottenuti dal rilievo effettuato sul torrente Muiach, nel comune di San Gregorio nelle Alpi, dove è stata segnalata l'emergenza di vistosi fenomeni erosivi.

In questa tabella la stazione (punto in cui si colloca il teodolite) si identifica con il numero 1000

NOME punto	ANGO	ANGV	DISTIN	DISTRID	DISL	EST	NORD	QUOTA	AZIMUT	HSTA	HPRS
1000	0	0	0	0	0	1000	1000	376	0	0	0
1001	218,4587	101,6911	11,692	11,687	-0,31	996,658	988,799	375,673	218,4587	1,514	1,53
1002	211,9934	101,2772	6,311	6,309	-0,126	998,818	993,801	375,857	211,9934	1,514	1,53
1003	290,3021	102,0855	10,461	10,455	-0,342	989,665	998,413	375,641	290,3021	1,514	1,53
1004	267,2392	101,4191	13,535	13,531	-0,301	988,22	993,339	375,682	267,2392	1,514	1,53
1005	271,5419	100,53	14,387	14,386	-0,119	987,027	993,781	375,864	271,5419	1,514	1,53

Tabella 1: Elaborazione dati derivanti dal teodolite.

(per le successive si utilizzeranno i valori 2000, 3000 ecc). Ogni punto rilevato viene registrato con numero progressivo, partendo da quello della stazione.

Le rimanenti colonne hanno il seguente significato:

ANGO è l'angolo orizzontale, espresso in gradi, del punto rispetto alla stazione. Esso coincide con AZIMUT. ANGV è l'angolo verticale; da questo valore e dalla distanza (DISTIN, distanza intera e DISTRID, distanza ridotta), lo strumento calcola il dislivello tra lo strumento stesso e il prisma



Figura 15: Teodolite in posizione.

(DISL). A questo valore, per trovare la QUOTA, lo strumento deve apportare le dovute variazioni sapendo l'altezza dello strumento da terra (HSTA) e l'altezza del prisma (HPRS), impostata inizialmente. La colonna EST si può interpretare come *coordinate relative*, cioè se alla stazione si dà valore 1000, tutti i punti più a ovest hanno un valore più basso, tutti i punti più a est hanno valore più alto; lo stesso discorso vale per la colonna NORD.

Il risultato finale, che si avvale di programmi di visualizzazione quali Autocad, è un disegno in pianta e degli *spaccati* dell'area in questione.

Risultato dei rilievi

Attraverso l'analisi dello stato di fatto, si rilevano anche le eventuali opere già effettuate, non solo per la manutenzione. Si possono, infatti, ricavare preziose informazioni dal lavoro svolto in precedenza, persino dagli insuccessi.

Iter del progetto

Ottenuta contezza della situazione, si può iniziare a pensare alle opere da realizzare.

Se il progetto riguarda una manutenzione, la progettazione è di solito molto più semplice proprio perché sono già presenti delle opere e, in genere, bisogna solo capire in che modo intervenire per sistemarle e ripristinare la loro funzionalità.

Se invece si costruiscono delle opere *ex novo*, bisogna valutare attentamente il dimensionamento, per non creare opere troppo piccole che non svolgono pienamente la funzione per cui sono state create o, al contrario, opere troppo grandi che comportano un inutile spreco di denaro.

Nella fase di progettazione, si valuta il materiale e il tempo necessario, l'eventualità di affidarsi a ditte esterne attraverso il noleggio ("a caldo", cioè comprensivo di personale addetto all'utilizzo, o "a freddo" ovvero del solo macchinario) e si valuta il costo della manodopera. Con questo computo metrico-estimativo, il progetto è valutato da apposita commissione della Regione Veneto perché venga approvato e siano destinati i soldi necessari.

Si devono poi richiedere le autorizzazioni necessarie per avviare il lavoro.

Si utilizzano quindi nuovamente degli strumenti GIS collegati al catasto, operando le cosiddette *visure per immobile*, (si veda allegato I per un esempio di visura di terreni).

Quando si realizza un intervento su un alveo, bisogna metterne a conoscenza anche le diverse società alle quali è possibile che una parte delle acque sia stata data in gestione, in modo che esse possano avviare delle azioni di tutela (tramite, per esempio, il recupero e lo spostamento della fauna ittica, se si tratta di società che riguardano la pesca) in modo da poterla preservare dal potenziale impatto derivante dalle operazioni inerenti al corso d'acqua interessato. Le azioni

intraprese variano secondo l'entità delle lavorazioni, del tratto considerato e della quantità di soggetti interessati.

Casi di studio

Durante il mio tirocinio ho avuto modo di seguire personalmente quattordici problemi idrogeologici di varia tipologia, di seguito elencati, realizzati, o da realizzare, in diverse aree della provincia di Belluno.

Ho avuto così, insieme al personale del Servizio Forestale, la possibilità di identificare il problema sul campo, analizzarne le cause e valutarne le possibili soluzioni, comprese le questioni di dimensionamento e di impatto sull'ambiente.

Nella tabella sottostante vengono riportati dati riguardanti i siti e al tipo degli interventi.

Comune	Località o bacino	Tipo di intervento o di analisi effettuata
1) Chies d'Alpago	Torrente Tela	Relazione geomorfologica e idraulica
2) Farra d'Alpago	Loc. Poiatte	Briglia di contenimento
Farra d'Alpago	Loc. Poiatte	Briglia selettiva
Farra d'Alpago	Loc. Poiatte	Gabbionata di sostegno
3) Puos d'Alpago	Loc. Bastiani	Manutenzione di un canale
4) Puos d'Alpago	Torrente Valda	Ripristino fondo di un canale
5) Longarone	Torrente La Grava, loc. Fortogna	Briglie in legname e pietrame, "Arcie"
Longarone	Torrente La Pissa, loc. Fortogna	Vasca di decantazione
6) Santa Giustina	Località Bivai	Rinforzo di un versante
7) Ponte nelle Alpi La Valle Agordina	Torrente San Piero loc. Cassani torrente Missiaga	Manutenzione di due torrenti
8) Mel	Loc. Vallenzai	Sistemazione alveo di un canale
9) Ponte nelle Alpi	Loc. Arsiè	Analisi di un evento franoso a seguito delle precipitazioni
10) Sovramonte	Loc. Ronch	Analisi preliminare alla VINCA per la manutenzione di un sentiero, a seguito dello scivolamento di una parte di versante

Tabella 2: Località dei siti e tipo di intervento o analisi effettuata.

Caso 1: torrente Tela, Chies d'Alpago; relazione geomorfologica e idraulica

Il Caso 1 fornisce un esempio di valutazione del corretto dimensionamento di alcune opere idrauliche, da eseguire nell'alveo di un torrente, sulla base della conoscenza delle caratteristiche geomorfologiche e idropluviometriche dell'area in esame.

Il torrente Tela si trova nel comune di Chies d'Alpago (BL).

Nell'alveo di questo torrente è stata segnalata la presenza di un fenomeno erosivo, poco a valle di via Cate, una strada che collega Chies d'Alpago con Tambre. Nell'allegato II è riportata una cartina dell'area tratta da Google maps che rende immediato l'inquadramento geografico della zona.

Il fenomeno si è originato a causa delle caratteristiche proprie del corso d'acqua. L'elevata pendenza del breve tratto a monte, infatti, favorisce la messa in movimento del materiale costituente l'alveo, specialmente a seguito di elevate precipitazioni.

Per ovviare al problema è stata valutata la costruzione di una o più piccole briglie che potessero dare sostegno all'alveo del corso d'acqua.

La posizione delle opere da porre nell'alveo è visibile nella Figura 16 (lettera A).

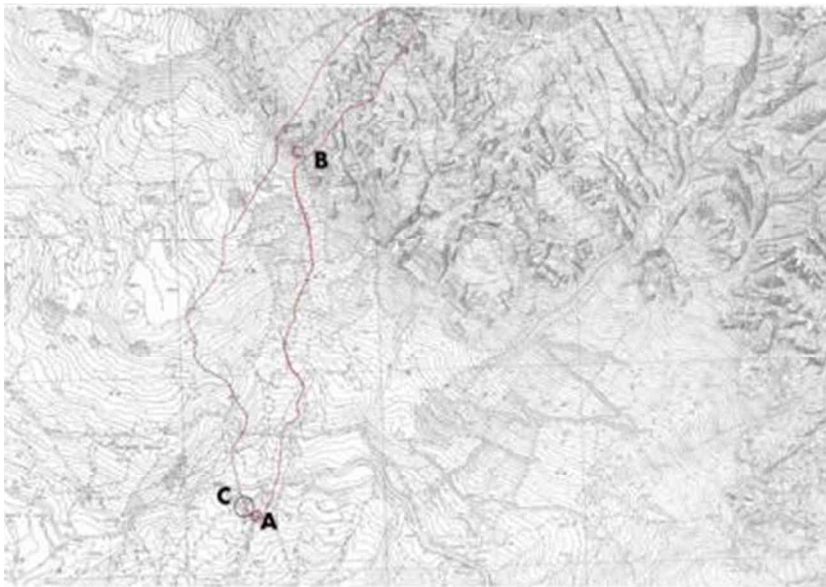


Figura 16: Delimitazione del bacino e sezione di chiusura Torrente Tela. Scala 1:5000. La lettera A indica la posizione delle opere in oggetto, la lettera B indica la posizione dove si riscontra un cambio di pendenza piuttosto marcato e dove il corso d'acqua diviene sotterraneo. Il punto C, invece, indica alcune malghe a monte degli interventi.

1.1 Caratteristiche del bacino

Il torrente Tela nasce a 1844 m s.l.m., la sezione di chiusura è stata posta a quota 1010 m s.l.m., dove saranno realizzate le opere in oggetto (Figura 16, punto A).

Il corso d'acqua è pressappoco diretto da nord a sud.

Da un'analisi planimetrica, è risultato che il bacino ha un'estensione di circa 0,194 km².

L'asta del collettore principale, prolungata allo spartiacque, è lunga circa 1,55 km.

La pendenza media del corso d'acqua è data dalla differenza tra le due quote, di origine e di chiusura, fratto la lunghezza planimetrica dell'asta principale. Questo risultato moltiplicato per cento restituisce la pendenza percentuale:

$$(1844 - 1010) / 1550 * 100 = 53 \%$$

La pendenza non è uniforme: essa è piuttosto pronunciata nella parte alta e moderata nella parte bassa (il punto B nella Figura 16 indica la posizione dove avviene un cambio di pendenza piuttosto marcato e dove il torrente diviene sotterraneo).

Il punto più alto del bacino è individuato nel Monte Messer, a 2230 m s.l.m.

La quota media del bacino è stata calcolata eseguendo la sommatoria delle differenze di quota tra due curve di livello contigue (h_i) moltiplicate per la superficie racchiusa delle stesse curve (A_i). Il risultato è stato diviso per l'area totale del bacino (A). In questo modo si è ottenuto:

$$H_m = (\sum h_i * A_i) / A = 1291 \text{ m}$$

1.2 Analisi geologica

Dalla carta geologica di Belluno (1:100.000, 1941), presente nell'allegato III si evince che il bacino presenta:

- marne scagliose, calcari lastriformi e marne cineree a intercalazioni calcaree (Zona verde scuro nell'allegato III)
- calcari saccaroidi a facies di scogliera e calcari bituminosi, ossia rocce permeabili per fratturazione e carsismo (zona verde chiaro nell'allegato III);
- detriti di falda e depositi morenici, nella restante parte bassa (zone puntinate nell'allegato III).

Questi dati geologici indicano quindi un'elevata infiltrazione di acqua nel terreno e un ridotto ruscellamento. Questo fatto è confermato dalla struttura del corso d'acqua: come si può vedere dalla carta della zona (Figura 16, in prossimità del punto B), i versanti che formano gli argini del

corso d'acqua si allargano a quota 1350 m s.l.m. circa. In questo punto, per l'arrivo a un conoide di deposizione, il corso d'acqua si infiltra nel sottosuolo.

Il corso d'acqua risulta nuovamente visibile circa 600 m più a valle. Questo fenomeno di riemersione può essere dovuto all'incontro dell'acqua con uno strato impermeabile sotterraneo, con immersione nord.

1.3 Valutazione della portata di piena

Per la valutazione della portata liquida al colmo Q si può utilizzare il *metodo razionale*.²³ Quello utilizzato tiene conto della superficie e del tipo di bacino e delle precipitazioni registrate nell'area del bacino.

La formula del metodo razionale, secondo Benini, 1972 (nota bibliografica 17) per il calcolo della portata liquida Q_p indica che $Q_p = \frac{A * P_e}{t_c * 3,6}$,

dove A è l'area del bacino in esame e P_e è l'altezza pluviometrica (pioggia efficace o critica) espressa in mm. T_c invece rappresenta il tempo di corrivazione. Per calcolare questi valori si deve procedere utilizzando varie formule elencate di seguito.

Per la valutazione del tempo di corrivazione T_c si può utilizzare la formula di Giandotti (1934):

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 * L}{0,8\sqrt{H_m - H_o}},$$

dove:

A= Area del Bacino ($A=0,194 \text{ km}^2$) calcolata posizionando un foglio di carta millimetrata trasparente sulla cartina, seguendo poi il contorno del bacino e contando i quadrati compresi al suo interno

L = lunghezza del collettore principale prolungata allo spartiacque ($L=1,55 \text{ km}$);

H_m = quota media del bacino ($H_m = 1291 \text{ m}$);

H_o =quota della sezione chiusura ($H_o=1010 \text{ m s.l.m.}$)

Il tempo di corrivazione risulta quindi di 0,31 ore (circa 19 minuti)

Ogni bacino risente maggiormente, e negativamente, delle precipitazioni di durata circa uguale o maggiore del tempo di corrivazione (pioggia critica), infatti la *pioggia critica* è “la precipitazione di durata uguale al tempo di corrivazione, capace quindi di provocare la massima piena del torrente in corrispondenza della sezione considerata.”¹³

Nelle piogge di durata minore non c’è tempo sufficiente perché tutta l’acqua caduta arrivi dal punto più alto del bacino fino alla sezione di chiusura. L’acqua che arriva effettivamente alla sezione di chiusura in questo tempo è minore dell’acqua totale caduta durante la precipitazione sull’area del bacino.

Sapendo che l’intensità di pioggia è “il rapporto tra l’altezza della precipitazione raccolta, espressa in mm e la durata della stessa, espressa in ore”¹³ si può dire che più lunghe sono le precipitazioni, minore è l’intensità, anche se maggiore è la quantità di pioggia caduta.

Nei casi di durata maggiore rispetto al tempo di corrivazione, quindi, “la pioggia, essendo di lunga durata, sarà poco intensa ed anche la portata di piena sarà limitata”.³¹ Per verificare questa affermazione ho creato la Tabella 4, che rappresenta i dati delle precipitazioni di durata superiore all’ora, precisamente 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Anche in questo caso il valore di ogni singola cella si riferisce a un evento separato dagli altri.

Da questa tabella e dalla precedente ho calcolato l’intensità dell’evento dividendo la quantità totale di pioggia caduta per i minuti di durata dell’evento. (Tabella 5). In questa tabella si vede che aumentando la durata dell’evento diminuisce l’intensità.

Santa Croce del Lago	ORE		
	0,25	0,5	0,75
1966	41	46,4	46,6
1967	19,0	24,0	NR
1968	12,0	18,6	19,6
1969	14,0	24	27
1970	12,4	22,6	24
1971	20,0	31,2	NR
1972	20,0	37,0	50,0
1973	14,0	22,2	23,6
1974	16,4	30,6	33,6
1975	15,0	28,0	38,0
1976	10	13,0	18,0
1977	18,0	25,2	25,4
1978	16,0	22,6	27,6
1979	20,0	35,0	53,6
1980	18,0	26,0	35,0
1981	18,8	23	29,0
1982	16,6	18,4	20,0
1983	24,8	27,8	29,8
1984	NR	NR	NR
1985	20,0	27,0	35,0
1986	18,2	26,4	33,2
1987	32,0	NR	NR
1988	10,0	NR	NR
1989	20,4	21,6	23
1990	13,6	14,8	16,0
1991	19,4	24,4	29,8
1992	8,0	12,0	15,4
1993	15	31,4	32,0
1994	20,0	30,0	37,0
1995	16,0	20,0	20,6
1996	16,0	17,0	19,6

Tabella 3: Dati pluviometrici della stazione di Santa Croce del Lago nel periodo 1966 - 1996.

³¹<http://www.digesa.unict.it/>

Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi						
Anno	Ore					
	1	3	6	12	24	
Santa Croce del Lago	1966	46,6	102,0	171,0	229,0	444,0
	1967	25,4	40,0	80,0	113,0	114,0
	1968	22,8	35,2	55,0	81,8	116,6
	1969	28,8	65,0	85,0	145,4	169,6
	1970	26,4	39,0	52,2	75,8	102,5
	1971	31,2	45,6	60,0	97,6	128,0
	1972	58,0	79,6	112,0	174,0	230,2
	1973	26,4	37,0	51,0	75,0	102,4
	1974	36,8	50,0	72,0	111,6	153,4
	1975	44,0	58,0	90,0	138,6	189,6
	1976	24,0	35,4	51,0	73,6	102,2
	1977	29,4	40,0	53,0	83,4	112,6
	1978	30,0	42,0	53,6	93,2	115,2
	1979	54,8	76,4	101,8	155,0	203,2
	1980	37,0	50,0	72,2	118,0	157,8
	1981	40,2	53,6	80,8	125,0	171,0
	1982	22,6	32,0	42,6	61,0	96,4
	1983	30,6	42,0	55,6	97,0	115,8
	1985	41,0	55,4	88,6	125,0	182,2
	1986	33,2	48,8	68,0	107,8	137,0
	1987	33,0	48,6	63,0	104,4	131,6
	1988	36,0	49,0	71,8	110,0	140,0
	1989	23,6	34,8	44,0	66,2	98,4
	1990	20,0	29,2	30,0	48,0	65,4
	1991	30,0	40,0	53,2	90,0	113,8
	1992	16,4	26,6	30,0	39,6	53,4
	1993	32,0	48,0	60,4	100,0	131,2
	1994	39,0	51,0	77,8	123,4	164,0
	1995	20,6	31,0	35,0	56,2	73,0
	1996	22,0	32,0	40,0	60,0	83,4

Tabella 4: Precipitazioni di massima intensità dal 1966 al 1996.

Intensità (espressa in mm /minuto)								
Ore	Ore							
	0,25	0,5	0,75	1	3	6	12	24
2,7	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	0,3	0,3	0,3
2,1	0,0	0,0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
1,3	0,8	0,0	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
0,8	0,6	0,4	0,5	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
0,9	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
0,8	0,8	0,5	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
1,3	1,0	0,0	1,0	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
1,3	1,2	1,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
0,9	0,7	0,5	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
1,1	1,0	0,7	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1
1,0	0,9	0,8	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
0,7	0,4	0,4	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,2	0,8	0,6	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,1	0,8	0,6	0,9	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
1,3	1,2	1,2	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
1,2	0,9	0,8	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
1,3	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,1	0,6	0,4	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1,7	0,9	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
1,3	0,9	0,8	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
1,2	0,9	0,7	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
0,7	0,0	0,0	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,4	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
0,9	0,5	0,4	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
1,3	0,8	0,7	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
0,5	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
1,0	1,0	0,7	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
1,3	1,0	0,8	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

Tabella 5: Calcolo delle intensità (mm/min).

Nella Tabella 3 ho riportato alcuni dati di

precipitazioni intense e di breve durata riferite al periodo 1966 –1996 nella zona in esame. I dati sono stati trovati negli annali idrologici messi a disposizione dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA)³² e si riferiscono alle rilevazioni della stazione di Santa Croce del Lago, località in comune di Farra d'Alpago. Si noti che ogni singola cella si riferisce a un singolo evento.

Bisogna notare che, in realtà, esiste anche una stazione di rilevamento a Chies d'Alpago e una a Col Indes, in comune di Tambre, e quindi ci sono due stazioni molto più vicine al torrente Tela di quanto non lo sia la stazione di Santa Croce del Lago. Queste stazioni però non sono adatte per i nostri scopi. Infatti la stazione installata a Chies è costituita da un pluviometro manuale e quindi l'unico dato disponibile è il totale delle precipitazioni, mentre la stazione di Col Indes è stata installata solo recentemente e non presenta quindi sufficienti dati storici.

Ho riportato in Tabella 6 alcuni dati rilevati in 10 anni dal pluviografo registratore di Santa Croce del Lago e dal pluviografo di Chies d'Alpago. In particolare sono indicate le massime precipitazioni (in mm) che sono durate più giorni consecutivi.

Anche se dieci anni non permettono una corretta analisi statistica, sono però abbastanza per vedere che le differenze sono piuttosto marcate, nonostante le due stazioni distino solamente 9,5 km circa. Le variazioni rilevate, posto che non vi siano differenze strutturali tra i due apparati,

³² <http://www.acq.isprambiente.it/>

danno un'idea della variabilità pluviometrica legata a fenomeni convettivi locali e alla loro interazione con le masse d'aria tipiche della circolazione di più ampia scala spaziale.

Tornando alla discussione che riguarda la disponibilità di dati pluviometrici nel circondario, bisogna notare che anche i valori rilevabili dalla stazione di Col Indes non sono completamente adatti ai nostri scopi, in quanto 25 anni (il pluviografo registratore di Col Indes, infatti, è stato installato solamente nel 1989) sono pochi per un'analisi statistica significativa di fenomeni climatologici, per i quali si utilizzano solitamente i valori medi su 30 anni.

La stazione di Santa Croce del Lago, le cui rilevazioni sono disponibili dal 1909³², è munita di un pluviografo registratore. Questo strumento registra la quantità di pioggia caduta (in mm), la durata

Massime precipitazioni in vari anni per periodi di pi giorni consecutivi												
Anno	Santa Croce del Lago Giorni			Chies d'Alpago Giorni			Differenza di precipitazioni tra Santa Croce e Chies d'Alpago giorni					
	1	2	3	1	2	3	1	%	2	%	3	%
1987	152,6	161,6	167,4	136,1	141,7	145,9	16,5	10,81	19,9	13,04	21,5	12,84
1988	115,8	122,2	125,2	81,2	87,2	92,1	34,6	29,88	35	30,22	33,1	26,44
1989	72,8	117	126,5	65,2	101,5	114,6	7,6	10,44	15,5	21,29	11,9	9,41
1990	92	99	99,9	128,6	141,2	145,6	-36,6	-39,78	-42,2	-45,87	-45,7	-45,75
1991	60	115,2	132,2	53,9	93,6	108,6	6,1	10,17	21,6	36,00	23,6	17,85
1992	90,6	121,8	160	113	209,1	249,7	-22,4	-24,72	-87,3	-96,36	-89,7	-56,06
1993	70,6	110,8	149,2	114,9	121,5	137,5	-44,3	-62,75	-10,7	-15,16	11,7	7,84
1994	76,6	98,4	112,2	83,2	109,2	124,5	-6,6	-8,62	-10,8	-14,10	-12,3	-10,96
1995	64,4	86,4	105,6	78,2	100,2	121,7	-13,8	-21,43	-13,8	-21,43	-16,1	-15,25
1996	158,6	204,6	248,4	130,7	176	207	27,9	17,59	28,6	18,03	41,4	16,67

Tabella 6: Confronto tra le massime precipitazioni (in mm) annuali registrate dalla stazione di Santa Croce del Lago e dalla stazione di Chies d'Alpago.

dell'evento (in ore o giorni), il tempo e quindi l'intensità (in mm/ora). Si ha la possibilità, dunque, di avere dati anche sulle precipitazioni brevi e intense che non possono essere invece ottenuti dai pluviografi semplici.

Al fine di determinare la quantità di pioggia caduta durante gli eventi brevi di maggiore rilevanza, ho ordinato i valori delle rilevazioni sulla Tabella 3 secondo la colonna denominata "0,25

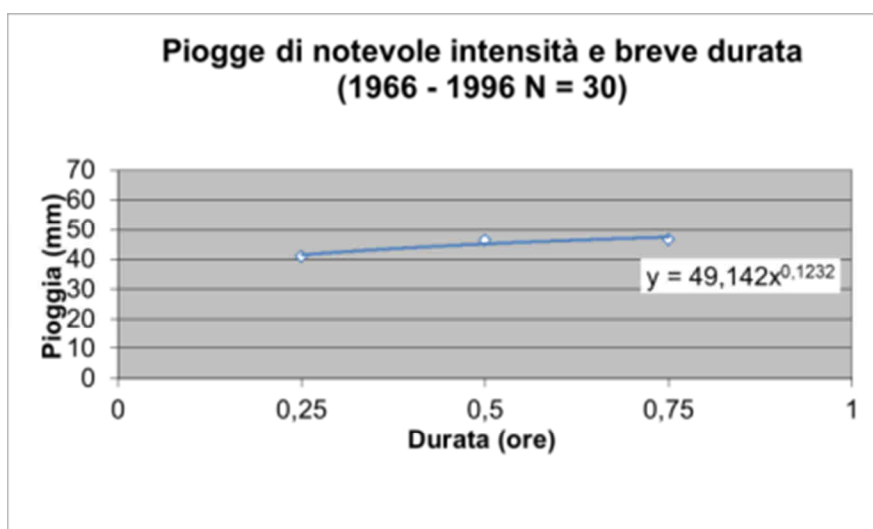


Figura 17: Linea di tendenza per il primo caso critico.

ore”.

Ho inserito poi i valori della prima riga della tabella su un grafico, ponendo in ascissa la durata in ore delle precipitazioni e in ordinata la quantità di pioggia (in mm) caduta nel singolo evento.

Dalla posizione dei punti ho potuto definire la retta che meglio li interpola, determinandone l’equazione. Il grafico risultante è riportato in Figura 17.

Ho utilizzato quindi l’equazione per determinare la precipitazione critica mettendo, al posto della “x” il tempo di corrivazione, nel nostro caso 19 minuti, 0,31 ore. Per le 30 rilevazioni oggetto dello studio, per una durata di 19 minuti, il calcolo della precipitazione critica risulta di 42,54 mm, utilizzando come equazione la risultante dal 1° caso critico, ossia il caso con intensità maggiore.

Equazione di probabilità pluviometrica	Durata (ore)	Precipitazione h (mm)
$H = 49.142x^{0.1232}$	0,31	42,54 mm

Tabella 7: Valori di precipitazione critica per il bacino del Torrente Tela.

Gran parte della precipitazione, nel contesto oggetto di studio, si infila a causa del fenomeno del carsismo, molto pronunciato in queste zone. Per questo tipo di suolo, si può ritenere un coefficiente C di deflusso del 30%³³. In altre parole solamente il 30% circa della precipitazione contribuisce ad aumentare la portata alla sezione di chiusura entro il tempo di corrivazione. Esso è quindi il valore che ci interessa per dimensionare le opere. L’acqua sotterranea contribuisce in misura minore a definire la portata che arriva alla sezione di chiusura entro il tempo di corrivazione, in quanto i suoi tempi di percorrenza sono generalmente molto più lunghi. Dai calcoli eseguiti la precipitazione efficace è $P_e = C * h = 12,76$ mm.

Utilizzando la formula razionale, si calcola una portata liquida massima Q_p di $2,21 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_p = \frac{A * P_e}{t_c * 3,6}$$

Il corso d’acqua trasporta, oltre all’acqua, anche molto materiale solido, che quindi aumenta il volume totale.

³³ B.Vigna, G. Calandri “Gli Acquiferi carsici” quaderno didattico SSI nr.12 2001

Generalmente si può valutare il trasporto solido analizzando i singoli eventi grazie a varie opere oppure a specifici campionatori.

Da una stima empirica, basata su osservazioni sul campo, il volume di materiale solido trasportato durante un evento di piena è approssimativamente uguale al volume di acqua. Si ipotizza dunque una portata totale di $4,42 \text{ m}^3/\text{s}$.

1.4 Verifica della sezione di progetto

Ho ipotizzato la progettazione di una briglia con savanella o gaveta trapezoidale con le caratteristiche di seguito elencate. In seguito ho verificato se le misure sarebbero state sufficienti a far defluire le grandi portate.

Ho impostato una briglia con gaveta che presenta le misure sotto indicate:

base maggiore $B = 3,5 \text{ m}$

base minore $b = 1,5 \text{ m}$

altezza 1 m

le ali presentano una pendenza di 45°

area sezione liquida $A = 2,5 \text{ m}^2$

pendenza piezometrica $i = 13 \%$

Ho verificato matematicamente se le misure ipotizzate sarebbero state sufficienti a sostenere la portata del corso d'acqua, impiegando le formule di Chézy e di Manning.

Ho unito la formula di Chézy, che permette di calcolare la velocità V del fluido partendo dal coefficiente di scabrezza n del canale, dal raggio idraulico r e dalla pendenza piezometrica i , alla formula di Manning che esprime il coefficiente di scabrezza n (in $\text{m}^{1/2}/\text{s}$) in funzione del raggio

idraulico r e la formula che si ottiene è: $V = \frac{1}{n} * r^{2/3} * i^{1/2}$.

Il raggio idraulico r si ricava dalla formula seguente: $r = \frac{A}{C} = 0,32 \text{ m}$,

Dove A è l'area del condotto e C è il perimetro "bagnato", costituito dalla somma delle lunghezze delle pareti del condotto a contatto con il liquido.

Assegnando valore $0,015$ al coefficiente di scabrezza n (questo valore è il valore relativo a "pareti in non perfette condizioni, muratura ordinaria più o meno accurata, pareti di legno grezzo,

eventualmente con fessure"²³ come indicato nel testo Benini, (1972, nota bibliografica 17), si ha $V = 11,24 \text{ m/s}$.

Inserendo questo valore nella formula $Q = VA$, (portata = velocità per sezione liquida, data dalla definizione di portata), risulta che la savanella è in grado di sostenere una portata Q di: $28,11 \text{ m}^3/\text{s}$, valore notevolmente maggiore rispetto a quello della portata massima ipotizzabile per il bacino in esame, anche considerando la portata solida.

Quest'analisi dovrebbe essere fatta prima di ogni intervento di trattenuta su qualsiasi bacino. In realtà spesso si usano dati empirici, soprattutto per le opere di piccole dimensioni, basate sull'analisi di opere esistenti sullo stesso corso d'acqua o su altri aventi caratteristiche idrogeologiche simili.

Infatti, è chiaro che, se le briglie costruite in tali aree sono riuscite a resistere per molti anni, vuol dire che esse sono state adeguatamente dimensionate e correttamente costruite.

L'opera ipotizzata per questo intervento non è stata ancora realizzata.

L'intervento, infatti, non risulta tra le priorità più elevate, dato che il problema in esame non si dimostra particolarmente pericoloso, direttamente o indirettamente, per l'uomo o per le strutture antropiche.

Caso 2: Località Poiatte, Farra d'Alpago

2.1 Analisi preliminare.

Il problema è stato segnalato in comune di Farra d'Alpago, molto vicino all'abitato di Poiatte. Si veda l'allegato IV per la cartina tratta da Google maps.

L'abitato è situato lungo la strada SP 423 del Lago di Santa Croce, che va da Farra d'Alpago a Sella di Fadalto.

Il piccolo paese è attraversato da un corso d'acqua minore, affluente del lago di Santa Croce. Le brusche oscillazioni della portata del corso d'acqua hanno provocato, negli anni, alcuni problemi che hanno suscitato preoccupazioni per il paese.

A seguito delle precipitazioni, infatti, la portata del corso d'acqua aumentava piuttosto velocemente. Si è deciso quindi di intervenire per limitare l'erosione associata alle piene e anche per scongiurare possibili esondazioni.

Come si può vedere dall'allegato V, tratto dalla carta geologica di Belluno in scala 1:100.000, nella zona in esame sono presenti queste formazioni:

- Marne scagliose rosse, calcari lastriformi rosei e marne cineree e biancastre a intercalazioni calcaree (zona di colore verde scuro nella cartina)
- Calcari saccaroidi a facies di scogliera con rudiste e caprinidi, calcari bituminosi e verdastri (zona verde chiaro)

2.2 Progettazione e posa in opera di una briglia di contenimento per limitare l'erosione

A pochi metri dal paese si notavano punti soggetti a particolare erosione. Come già detto, questo problema si aggravava quando, a seguito di precipitazioni anche di modesta entità, la portata e la velocità del corso d'acqua divenivano molto elevate.



Figura 18: Località Poiatte di Farra d'Alpago.



Figura 19: Briglia realizzata in località Poiatte di Farra d'Alpago.

Già una semplice analisi visiva mostrava chiaramente che l'alveo del corso d'acqua presentava una scabrezza elevata. Per questo motivo una riduzione della velocità del flusso, ottenibile aumentando gli attriti con il fondale, ad esempio disponendo alcuni pali trasversali alla corrente e aggiungendo materiale lapideo, pareva dover sortire effetti limitati.

Si è allora esaminata la possibilità di ridurre gli effetti dell'erosione attraverso una copertura nei punti più sensibili vicino all'abitato. Si è dovuto constatare, però, che questo intervento non avrebbe risolto il problema nel lungo periodo. Infatti, alla lunga la corrente del corso d'acqua, che avrebbe continuato a impattare l'alveo in quei punti, alla fine avrebbe deteriorato il materiale sistemato per la copertura e il problema si sarebbe riproposto.

Dato che il tratto in esame è piuttosto breve, si è ritenuto possibile un intervento volto alla riduzione della pendenza dell'asta del torrente. Si

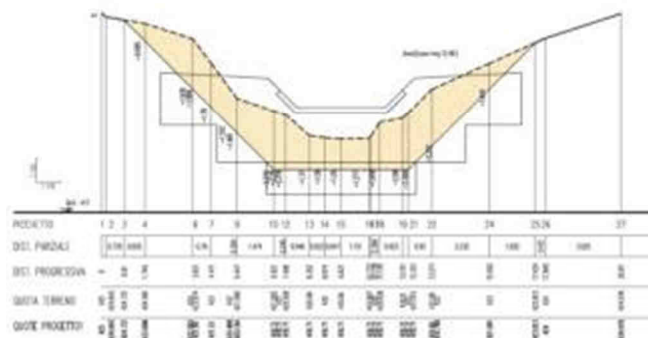


Figura 20: Progetto della briglia costruita.

è deciso quindi di costruire una briglia a supporto di quella già esistente una decina di metri a monte. Si viene a creare così anche una vasca tra le due opere. In questo modo si riducono gli effetti dello stramazzo (l'acqua cioè che cade attraverso la gaveta) e la sotto-escavazione della briglia esistente. Si è deciso anche di riempire la vasca di materiale lapideo ricavato dallo sbancamento. L'acqua che cade dalla gaveta già esistente impatterebbe innanzitutto su tale materiale, molto duro, e la ridotta energia cinetica accumulata dall'acqua non sarebbe sufficiente a scavare la base della briglia e quindi a scalarla.

Analizzando le dimensioni dell'alveo e la portata del corso d'acqua, utilizzando le stesse formule espresse nel capitolo precedente, si è deciso di costruire una briglia di 2,5 m di altezza e 11 di lunghezza, con una gaveta di 6 m di base maggiore e 4 m di base minore, con ali alte 1 m e uno spessore di 80 cm. Nella Figura 20³⁴ si vede il progetto per la realizzazione dell'opera. Per prolungarne la durata, e date le dimensioni abbastanza elevate dell'opera, si è deciso di usare il calcestruzzo armato. Alla fine sono stati necessari circa 18m³ di tale materiale. Durante la realizzazione, il corpo della briglia è stato opportunamente forato con tubi passanti per far defluire l'acqua che altrimenti rimarrebbe a monte creando una diga e provocando spinte idrostatiche molto consistenti.

Per ridurre l'usura dovuta al materiale solido trasportato dal torrente e allontanare lo stramazzo dalla base della briglia è stato posto un rivestimento di pietre sporgenti sulla gaveta.

Per realizzare la briglia è stato necessario effettuare lo scavo delle fondazioni e un lavoro di sbancamento con un piccolo escavatore per creare uno spiazzo adeguato e rimuovere il materiale in eccesso.

2.3 Progettazione e posa in opera di una briglia selettiva per limitare l'eccessivo accumulo di materiale solido

Nella stessa area è stato rilevato un altro problema, che riguardava un ponticello, posto subito a monte dell'abitato di Poiatte, che restringe molto la sezione dell'alveo.

Intervistando gli abitanti del borgo, si è appreso che presso questo ponte spesso si fermavano ramaglie e altro materiale a seguito di eventi di precipitazione intensi e quindi era elevato il rischio di esondazione. Il materiale accumulato, infatti, rischiava di formare uno sbarramento e l'acqua, rallentata nel suo decorso naturale verso valle, tendeva a trovare uno sfogo sopra il bordo, esondando appunto.

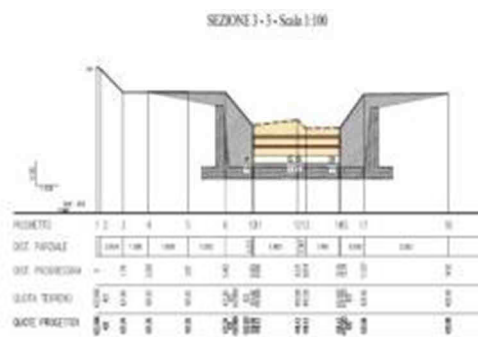


Figura 21 Disegno dello stato di fatto - sezione dei tubi selettivi

³⁴ Disegno realizzato dal geom. Palma Antonio e dal geom. Chierzi Terenzio del Servizio Forestale Regionale.

Poco a monte del ponticello in esame era già presente una sorta di barriera selettiva per il materiale trasportato dal corso d'acqua, consistente in due tubi orizzontali disposti da un argine all'altro.

Tale sistema però, non risultava sufficiente a fermare adeguatamente tutto il materiale trasportato. Si veda la Figura 21³⁴ per il disegno dello stato di fatto, cioè di com'era il sistema di trattenuta prima dell'intervento.

Si è ritenuto opportuno, per questo motivo, modificare tale struttura creando una briglia selettiva a pettine, posta tra la briglia sopra descritta e il ponticello.

Date le dimensioni del canale si è deciso di costruire una briglia selettiva di 14 m di lunghezza, 3 m di altezza e 1 m di spessore, con una gaveta trapezoidale di 4,5 m di base maggiore, 3,5 m di base minore e ali alte 1 m per un totale di 37,5 m³.

Anche quest'opera è stata realizzata in calcestruzzo armato. Per il pettine sono stati piantati otto paletti di acciaio che sporgono 30 cm e distano 20 cm uno dall'altro del diametro 10 cm. Si veda la Figura 22 per avere un'idea della struttura del pettine.

Per quest'opera è stata programmata una manutenzione cadenzata con svuotamenti frequenti in modo da mantenerne alta l'efficienza.

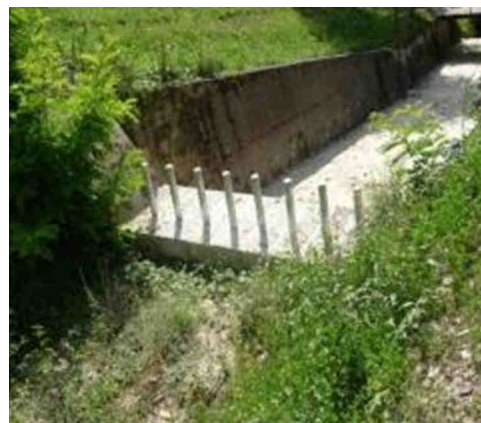


Figura 22: Briglia a pettine realizzata in località Poiate di Farra d'Alpago.

2.4 Progettazione e posa in opera di una gabbionata di sostegno per scongiurare il cedimento di un versante

Vicino allo stesso alveo oggetto degli interventi appena descritti, in destra orografica, sopra la briglia di contenimento, c'è una mulattiera in un versante che presentava un cedimento di circa 5 metri.

La causa dello smottamento è sicuramente l'elevata pendenza di quel tratto unita all'incoerenza del materiale costituente il versante. Per tale motivo si è ritenuto opportuno mettere in opera anche una struttura di sostegno per tale stradina. Si è scelto di costruire alcuni gabbioni di rete metallica riempiti in parte con il materiale risultante dagli scavi, in parte con altro materiale squadrato acquistato appositamente. A parità di risultati ottenibili, si è preferito questo intervento perché non comporta eccessivi costi.



Figura 23: Gabbioni posizionati a Poiate di Farra d'Alpago.



Figura 25: Terzo caso analizzato, Località Bastiani
Puos d'Alpago.



Figura 24: Canale a seguito della manutenzione
e della costruzione del nuovo fondo.

Caso 3: Località Bastiani, Puos d'Alpago

3.1 Analisi preliminare

Analizziamo ora il caso di mancata o scarsa manutenzione di un canale di deflusso che ha provocato nel passato degli allagamenti.

L'area in questione è localizzata nel comune di Puos d'Alpago, località Bastiani, vicino a Cornei. Si veda l'allegato VI per una cartina della zona tratta da Google maps.

Il piccolo borgo si trova a circa 500 m s.l.m., a circa 3 km di distanza dal capoluogo comunale, poco distante (circa 700 m) dalla frazione di Cornei.

Qui un gruppo di abitazioni è circondato da un prato di circa mille metri quadrati di estensione.

Lungo il confine sud-ovest del prato è presente un piccolo canale scavato nel terreno. Tale canale si presentava completamente colmo di terra, legname e pietrame.

L'allegato VII mostra un estratto dalla carta geologica in scala 1:100.000 di Belluno. Da questa carta si può vedere che nella zona è presente questa formazione:

- A facies di Flysch e calcari e marne argillose ad orbitoidi

3.2 Manutenzione di un canale per evitare un eccessivo ristagno di acqua

A seguito di precipitazioni anche di modesta intensità la superficie del prato tende ad allagarsi. L'acqua, inoltre, ristagna nel terreno per diversi giorni dopo la fine delle precipitazioni e alcune pozze permangono per un tempo addirittura maggiore.

Alcuni piccoli scavi effettuati in diversi punti del prato in esame hanno reso possibile accertare che il terreno è argilloso. La causa del ristagno è, plausibilmente, la ridotta permeabilità della superficie. A questa causa intrinseca si aggiunge la morfologia della zona. Il prato, infatti, occupa una conca che non permette il deflusso superficiale dell'acqua.

Un cambiamento della pendenza del terreno potrebbe essere realizzato solo mediante un rimodellamento superficiale di notevoli dimensioni. Il costo però non sarebbe sostenibile dalla comunità locale.

Un'indagine tra gli anziani del paese ha rivelato che il canale dismesso era stato costruito per drenare e portare via l'acqua che arriva alla zona.

Si è pensato quindi che una mirata opera di manutenzione del canale avrebbe ripristinato l'equilibrio idrogeologico del passato.

L'intervento si è articolato come segue. Prima di tutto è stata asportata la vegetazione che si era sviluppata sul letto e attorno al canale. La seconda fase ha riguardato lo svuotamento dai detriti che si erano accumulati nel letto, effettuato con un piccolo escavatore. L'opera è stata terminata con la sistemazione delle pareti con legname e del fondo con pietrame posto in opera a secco intervallato circa ogni metro da un palo trasversale.

In questo modo sono stati garantiti sia la funzionalità idraulica del canale, sia un buon impatto ambientale dell'opera.

Dopo l'intervento si è constatato che il canale, durante e dopo le precipitazioni, ha svolto bene la sua funzione. Nel prato, infatti, dopo le piogge, si accumula una quantità d'acqua decisamente minore e il prato si asciuga in minor tempo.

Per mantenere l'efficacia del canale è stata programmata una futura manutenzione ordinaria.



Figura 27: Torrente Valda, Puos d'Alpago, prima dell'intervento.

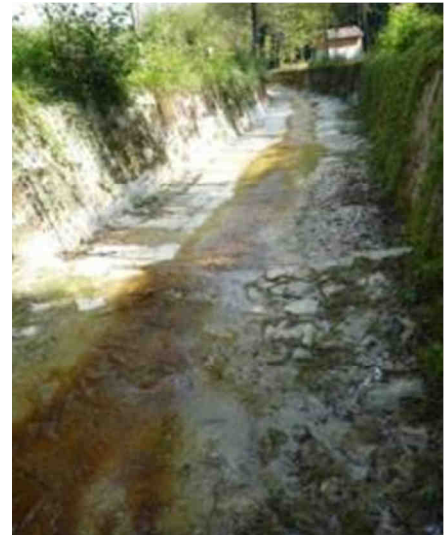


Figura 26: Torrente Valda dopo la manutenzione.

Caso 4: Torrente Valda, comune di Puos d'Alpago

4.1 Analisi preliminare

In Alpago abbiamo analizzato anche la problematica posta dalla presenza di un corso d'acqua incanalato alcune decine di anni fa, vicino al capoluogo Puos. Il torrente passa sotto la piazza del paese di Puos, creando possibili condizioni di criticità per l'abitato, com'è avvenuto in occasione dell'alluvione del novembre 1966.

Si tratta del torrente Valda. Si veda l'allegato VIII per una cartina tratta da Google maps, in cui il segno rosso indica la zona oggetto di intervento.

Ho calcolato e trovato alcuni dati riguardanti il bacino del torrente Valda.

Il bacino del torrente in esame presenta una superficie (A) di 4,109 km²; il punto più elevato corrisponde al centro abitato di Pieve d'Alpago, situato a 690 m.

La quota media del bacino (H_m) è di 553,5 m; la lunghezza totale della rete idrografica è di circa 23,425 km, mentre il ramo principale (L) è lungo pressappoco 3,862 km; la pendenza media della rete idrografica è del 16,14 %

Grazie a questi dati e utilizzando la stessa formula del caso 1, ho potuto calcolare il tempo di corrvazione T_c, che risulta di 1,53 ore (1 ora e 31 minuti)

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 * L}{0,8\sqrt{H_m - H_o}}$$

“Facendo riferimento alla stazione meteorologica di Belluno (periodo di osservazione 1926 – 1970) per le temperature e a quella di S. Croce del Lago (periodo di

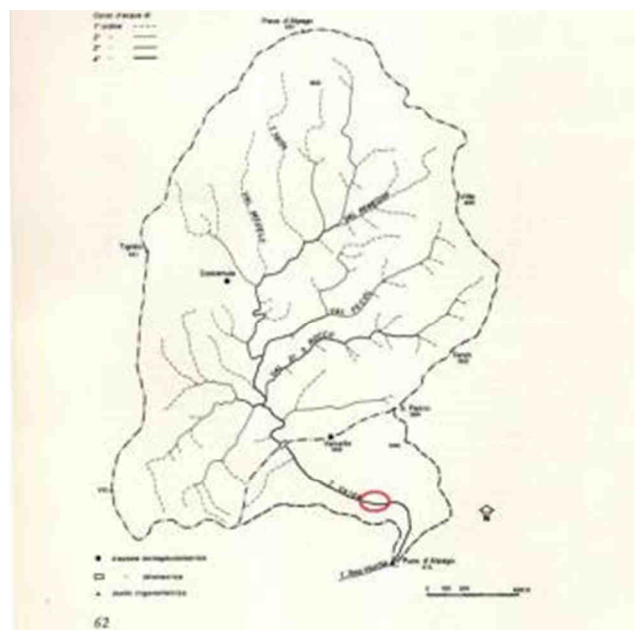


Figura 28: Bacino del torrente Valda con, cerchiata, l'area di intervento.

osservazione 1921 – 1972) per le precipitazioni, si hanno i seguenti valori:

- temperatura media annua 11.10 °C,
- Temperature medie mensili comprese tra -0,4 °C (Gennaio) e 21.10 °C (Luglio).
- Precipitazioni medie annue 1613 mm,
- Precipitazioni medie mensili comprese tra 69 mm (Gennaio) e 213 mm (Novembre), la mediana è di 171 mm (Giugno)³⁵.

“Il torrente Valda ha una portata generalmente molto modesta, dell’ordine di 50 l/s, ma che può diventare straordinariamente elevata e può raggiungere anche i 30 m³/s a seguito degli eventi meteorici eccezionali”³⁵.

Nella Figura 28³⁶ si può vedere la mappa del bacino del Torrente Valda.

L’allegato IX mostra inoltre la carta geologica del bacino del torrente Valda in scala 1:10.000.

Come si può vedere, il bacino presenta:

- argille e marne scagliose fossilifere per circa il 50% della sua superficie (parte grigia nell’allegato)
- depositi torbosi (parte bianca con linee verdi nell’allegato) e morenici (parte bianca con linee e cerchi viola nell’allegato).
- molti segni di piccole frane (mezzaluna con un triangolo interno nell’allegato), grandi accumuli di frane (curve verdi con una sorta di pettine), nicchie di frana e altri segni di movimenti franosi più o meno superficiali

Sotto l’aspetto geologico e geomorfologico, la zona è molto instabile, con problemi di erosione nella parte alta e di accumulo nella parte bassa del corso d’acqua.

4.2 Ripristino di un canale per ridurre il cedimento alla base di un argine

Il problema è stato segnalato circa 700 m a monte rispetto alla confluenza del torrente Valda con il torrente Tesa Vecchia, nell’abitato di Puos d’Alpago a una quota di 425 m. La manutenzione di questo canale è importante proprio per salvaguardare il centro urbano di Puos d’Alpago.

La piazza del paese è stata costruita sopra il canale, riducendone la sezione idraulica. Bisogna quindi evitare in modo assoluto che si creino delle occlusioni a monte che possano provocare esondazioni e altri problemi a valle.

Un problema che avrebbe potuto aggravarsi in futuro si vede chiaramente nella Figura 27. Il canale presentava un elevato fenomeno di erosione lungo la base della sponda in destra orografica per un tratto di circa 500 m.

³⁵ Pellegrini Giovanni Battista, 1983 “Valutazione quantitativa dell’erosione di un bacino idrografico mediante l’analisi tridimensionale del rilievo”.

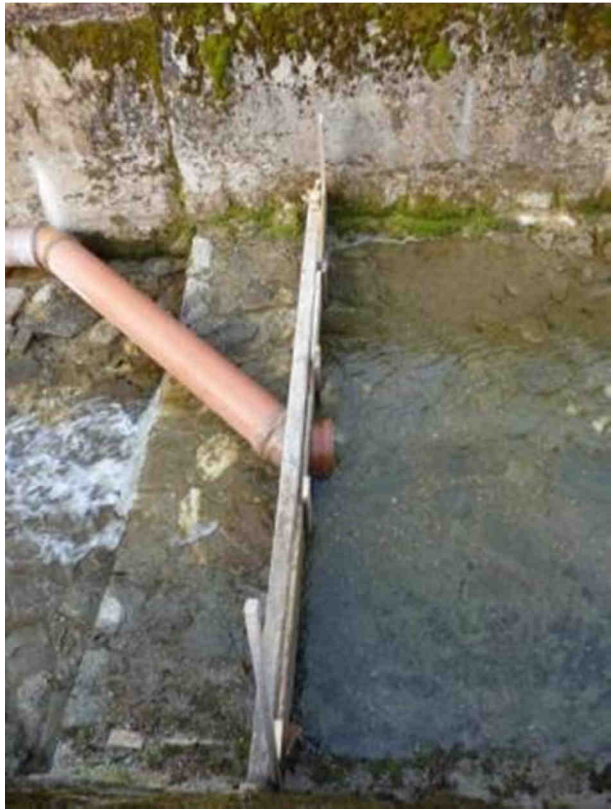
³⁶ Immagine tratta da Pellegrini 1983 (nota bibliografica 25)

Se tale erosione si fosse approfondita, il rischio di crollo del muro, quindi il rischio di esondazioni, avrebbe raggiunto livelli elevati. Lungo la sponda sinistra, inoltre, è presente molto materiale organico depositato.

Questo problema è senza dubbio causato dal fatto che il corso d'acqua, in questo tratto, è caratterizzato da un meandro verso sinistra. La sponda sinistra è all'interno, dove la velocità dell'acqua è minore e, quindi, in zona deposito. La sponda destra, invece, è all'esterno della curva, dove la velocità dell'acqua è maggiore e, di conseguenza, è maggiore l'erosione. Il meandro è chiaramente visibile nella cartina in allegato.

Per ridurre il pericolo di crolli, derivanti dall'aumento dell'erosione, che potrebbero coinvolgere il muro in esame, si è deciso di ricostruire completamente il fondo del canale, mantenendo il materiale di costruzione esistente, ossia pietre a vista legate da conglomerato cementizio. Prima dell'operazione di rivestimento si è proceduto alla pulizia dell'argine sinistro. Durante i lavori l'acqua è stata fermata e intubata provvisoriamente per non recare problemi al calcestruzzo messo in opera.





Caso 5: Fortogna, comune di Longarone.

5.1 Analisi preliminare

A Fortogna, nel comune di Longarone, ho avuto modo di esaminare due corsi d'acqua e un conoide, vicini tra loro, ma molto differenti dal punto di vista geomorfologico: il rio la Grava, indicato dagli abitanti anche come "Rio Fortignasi" e il rio "la Pissa". Entrambi questi corsi d'acqua sono affluenti in destra orografica del Piave, e scorrono in valli sospese proprio sulla valle glaciale del Piave. Si vedano gli allegati X e XI per una cartina della zona tratta da Google maps e una

Genn.	67
Febb.	84
Mar.	100
Apr.	127
Magg.	155
Giu.	180
Lugl.	146
Ago.	132
Sett.	129
Ott.	163
Nov.	176
Dic.	122
Media annuale	1582

Tabella 8: Piovosità media mensile e annuale (in mm) per un periodo di trent'anni (1952 – 1982).

anno	Ore		
	0,25	0,5	0,75
1966	16,6	18,4	
1967	4,0	7,0	
1968	21,0	28,2	29,6
1969	6,2	11,4	15
1970	14,0	20,8	21,4
1971	11,2	17,2	19,0
1972	12,0	17,8	19,6
1973	16,0	16,0	16,0
1974	18,4	20,0	20,6
1975	13,2	18,2	19,6
1976	9	12,0	15,0
1977	13,4	14,6	17,0
1978	13,0	18,6	23,0
1979	13,6	19,0	20,0
1980	15,0	20,0	20,8
1981	16	17	22
1982	18,0	22	30,0
1983	16,0	20,0	30,0
1984	18,8	20,8	24,0
1985	10,0	14,0	18,0
1986	12,4	17,2	25,2
1987	32,0		
1988	14,4		
1989	25,6	29,6	31,4
1990	16,8	19,4	20,4
1991	15,4	16,4	18,8
1992	12,4	22,0	27,2
1993	20	37,6	48,4
1994	22,0	24,0	28,0
1995	20,0	23,2	26,2
1996	13,6	16,8	18,4

Tabella 9: Eventi intensi di breve durata (in mm) in un periodo di trent'anni (1966 – 1996).

tavoletta IGM della stessa zona. Il conoide, anch'esso in versante destro del Piave, è indicato nella tavoletta come "Salt del lupo". Come si vede dalla cartina, il conoide non presenta, normalmente, segni di acque superficiali.

Nelle tabelle qui sopra sono riportati i valori delle precipitazioni registrati dalla stazione meteo di Fortogna in trent'anni di osservazione, con la media annuale e dei vari mesi (Tabella 8³⁷) e le registrazioni degli eventi intensi di breve durata (Tabella 9³⁸).

³⁷Sacchet A. 1984 "Comune di Castellavazzo" piano economico dei beni silvo-pastorali di proprietà del comune"

L'analisi dei due corsi d'acqua ha riguardato uno studio delle opere che sono state realizzate in precedenza per determinare come fosse possibile agire mettendo in atto altre costruzioni.

Il rio "Fortignasi" (Allegato X punto 1) ha un bacino di raccolta di circa 0,136 km², un canale di trasferimento di circa 50 m, che corrisponde a una parete rocciosa pressoché verticale e un conoide di deiezione costituito da materiali detritici di trasporto accumulatisi nel tempo e ora abbastanza stabilizzati. Il punto più alto del bacino è stato identificato a quota 1056 m s.l.m., presso Casera Fortignasi.

Sul tratto basale è presente un cunettone di circa 400 m di lunghezza planimetrica con un dislivello di circa 95 m e quindi una pendenza media attorno al 23%. Il cunettone, che si vede nella Figura 29, termina in corrispondenza del ponte della strada statale 51, dove ha inizio l'intervento in seguito descritto.

Prima dell'attuale strada statale, il corso d'acqua sottopassa la vecchia strada di Alemagna e la ferrovia Ponte nelle Alpi – Calalzo.

I tre ponti sono stati costruiti in anni diversi, il più vecchio è quello dell'Alemagna, risalente al 1830, seguito da quello della ferrovia, del 1912, mentre il più recente è quello dell'attuale strada 51.

Nei casi di precipitazioni di medio – scarsa intensità, l'acqua filtra attraverso il materiale detritico depositato fino a raggiungere uno strato impermeabile posto grossomodo a quota 408 m s.l.m., poco più alto del livello del greto del Piave, dove dà origine a risorgive. Solo in caso di precipitazioni elevate l'acqua scende lungo il cunettone, dove, a ricordo degli abitanti, raggiunge un'altezza massima di circa 50 cm.

Prima della costruzione del cunettone l'acqua, non controllata, tracimava a monte, creando problemi alle case del paese. Gli abitanti ricordano ancora quando erano costretti a recarsi sul posto per posizionare delle tavole in modo che l'acqua non raggiungesse l'abitato.

Nella parte bassa del canale sono stati realizzati due argini di contenimento, in terra, alti 2 m e un alveo largo 1,5 m rivestito di pietrame di grandi dimensioni, annegato nel calcestruzzo.

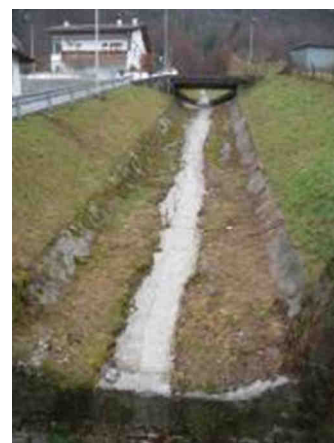


Figura 29: Cunettone del rio "Fortignasi" visto dal ponte della vecchia strada Alemagna.



Figura 30: Briglie realizzate negli anni 1960'

³⁸ Dati ricavati da <http://www.acq.isprambiente.it/>

La parte alta è stata sistemata con la costruzione di una serie di briglie di trattenuta in calcestruzzo. Il risultato è stato positivo, poiché l'acqua non ha più creato problemi al paese. Tali opere di sistemazione sono state fatte attorno ai primi anni 60' del secolo scorso dal Corpo Forestale dello Stato

Il rio "la Pissa" (Allegato X punto 2) ha una struttura di alveo diversa rispetto al vicino rio Fortignasi. Tra le differenze più notevoli risalta l'assenza, alla base delle cascate, di una zona di accumulo.

Il bacino di raccolta ha invece caratteristiche morfologiche simili al precedente, con una superficie di circa 0.443 km². Il punto più alto si trova a quota 1499 m s.l.m., in corrispondenza della cima del Monte Beccola.

Tra la parte alta e la parte bassa del bacino sono presenti 3 cascate che coprono un'altezza di circa 100 metri. Dopo circa 400 m il corso d'acqua passa sotto la strada statale. La forza dell'acqua dell'ultima cascata, la più alta, che precipita su uno strato roccioso, impedisce l'accumulo del materiale trasportato, che è spinto a valle. Dopo circa 100 m il corso d'acqua passa sotto la strada statale. Qui la corrente si attenua e la parte solida viene depositata, creando una situazione problematica, che sarà esaminata più avanti.

A sud – ovest di questi due canali è presente un conoide di deiezione (Allegato X punto 3) non completamente stabilizzato, delimitato, a ovest e a sud, da pareti rocciose.

La parte basale ha una notevole pendenza, oltre 50°. Una pendenza di accumulo così elevata è possibile in quanto la maggior parte del materiale di formazione è costituito da massi rocciosi di grossa dimensione e a spigolo vivo. Buona parte della superficie è coperta da formazioni arboree. Ci sono anche piccole vallette, che indicano movimenti superficiali.

Il materiale, messo in movimento da particolari precipitazioni meteoriche, come avvenuto nell'inverno 2013-2014, assume le caratteristiche di fluidità e di movimento della lava torrentizia che spesso crea problemi alla ferrovia Ponte nelle Alpi – Calalzo. A volte, infatti, il materiale arriva sui binari provocando rallentamenti e disagi che possono finanche portare alla sospensione della normale circolazione dei treni.

In passato sono stati tentati vari approcci per risolvere il problema. In particolare, sono state posizionate reti paramassi per trattenere il materiale più grossolano. Così facendo, però, non si possono evitare gli smottamenti di materiale più fine e più abbondante in movimento al piede del conoide.

Come si può vedere dall'allegato XII, tratto dalla cartografia di Belluno in scala 1:100.000, nel bacino sono presenti queste formazioni rocciose:

- dolomia scura talvolta cariata (parte arancione)
- depositi morenici (zona bianca con i punti verdi)

5.2 Messa in opera di briglie in legname e pietrame “Arcie” per limitare l’erosione.



Figura 31: Visione d’insieme della fase di cantiere nel quinto caso in esame, località Fortogna,

Nella zona appena descritta, è stato analizzato un problema rilevato sul torrente “Fortignasi”. L’allegato XII presenta una cartina tratta da Google maps in cui il punto 1 rappresenta proprio il rio in esame.

Oltrepassato il ponte della statale, il corso d’acqua comincia a scendere lungo una scarpata di circa 100 metri con una pendenza di circa 45°. Qui si constatava un’elevata erosione e asportazione del materiale in seguito agli eventi di piena, che rischiava, in una prospettiva di medio - lungo termine, di provocare situazioni di pericolo per la strada perché la base di sostegno del ponte avrebbe potuto rovinarsi.

La causa dell’erosione è stata identificata nell’elevata pendenza del versante in esame e la conseguente rapidità e capacità erosiva dell’acqua che, a volte, vi scorre. Veniva quindi facilmente messo in movimento il materiale del fondo, tutto alluvionale e incoerente.

Per eliminare l’inconveniente, è stato scelto di realizzare alcune strutture che riducessero la pendenza e dessero stabilità al pendio.

Si è pensato di costruire una serie di strutture in legname e pietrame (arche o arcie) trasversali al corso d’acqua, partendo a est del ponte, fino al pianoro che si trova in fondo al pendio, per un totale di tre briglie.

Si è deciso di costruire le briglie in legname e pietrame poiché le dimensioni delle opere non sono troppo elevate e per un motivo strutturale. I pali, infatti, possono essere piantati e raggiungere profondità elevate senza procedere a un eccessivo sbancamento. Un altro motivo che ha indirizzato la scelta del materiale è la volontà di tutelare la naturalità ancora presente nella zona.

Il cantiere, diversamente da quanto suggerito per casi analoghi, è iniziato dall’alto per permettere l’accesso alla macchina operatrice e per farla arrivare in basso, a portata di strada, al termine del lavoro.

Solitamente, invece, si procede nella costruzione partendo dal basso, in modo che una volta costruite, le briglie si riempiano di materiale detritico proveniente dagli scavi a monte così da stabilizzarsi.

Per costruire le briglie si è pensato di utilizzare un escavatore “ragno”, che, grazie alle sue caratteristiche, riesce a raggiungere anche le zone che presentano elevata pendenza e operare in queste situazioni durante i lavori.

Tecnica costruttiva delle arcie in esame

La prima fase dell'intervento è consistita nel lavoro di sbancamento, per ottenere lo spazio sufficiente per posizionare l'arcia. Sono stati quindi piantati 4 pali verticali, chiamati puntoni, a distanza di 1 m uno dall'altro, alla profondità di 1 m, sporgenti ½ m da terra, per ancorare la briglia. Sono stati posti poi 4 pali orizzontali, paralleli all'asse del torrente, detti tiranti, di lunghezza variabile, in funzione della pendenza del terreno da sistemare.

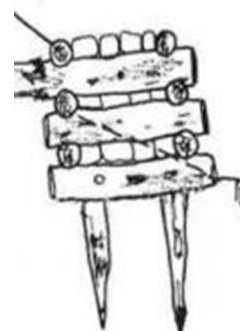


Figura 32: Profilo costruttivo di un'arcia.

Sopra è stato posto un palo nella parte esterna e uno in quella interna, di

lunghezza variabile, in base alla larghezza dell'alveo, trasversali all'asta, i cosiddetti lungoni. La Figura 32³⁹ rappresenta la schematizzazione di un lavoro simile.

Tutti i vari elementi lignei sono stati fissati tra loro mediante chiodi o pioli metallici.

Il modulo base è stato ripetuto fino a raggiungere l'altezza desiderata.

All'interno degli spazi definiti dagli incroci dei pali, sono stati sistemati i gabbioni metallici riempiti di materiale

pietroso risultante dai lavori di scavo e altre grosse pietre.

La gaveta è stata fatta disponendo, lungo l'asse dell'asta, alcuni pali ravvicinati, che formano una completa copertura e che sono stati fissati al lungone sottostante.

Il legname usato è costituito di tronchi di larice scortecciati per garantire la durata nel tempo, di diametro 25 cm circa per i lungoni, e 35 cm, circa, per i tiranti.

Sul corso d'acqua era presente un grosso conglomerato. Utilizzando l'escavatore si è constatato che era ben ancorato al terreno. Si è deciso quindi di utilizzarlo come supporto alla prima briglia.



Figura 33: Particolare costruttivo della prima briglia.

³⁹ Disegno di un vecchio progetto del Servizio Forestale Regionale





Figura 34: Vasca di decantazione, località Fortogna
comune di Longarone.

5.3 Svuotamento di una vasca di decantazione riempitasi a seguito di eccessiva sedimentazione

Successivamente è stato preso in esame il corso d'acqua "La Pissa". Si veda l'allegato X punto 2 per una cartina tratta da Google maps.

A monte del ponte molto stretto della statale 51, sono state costruite, alcuni anni addietro, due vasche di deposito del materiale solido trasportato dal torrente stesso e spinto verso valle dalla forza della cascata.

L'obiettivo delle vasche era di evitare che il materiale ostruisse e danneggiasse il ponte della statale, fondamentale per la viabilità da e per il Cadore.

Il materiale accumulato, se non viene rimosso, può innalzare il livello dell'acqua, aumentando molto il pericolo di esondazione.

A causa dell'elevato trasporto solido del corso d'acqua e della ridotta manutenzione, le vasche oggetto di studio si sono riempite e, secondo alcune testimonianze degli abitanti locali, durante le precipitazioni dell'autunno 2012, il corso d'acqua ha esondato molte volte, fortunatamente senza danni. Nelle vasche erano presenti circa cento metri cubi di detriti alluvionali, accumulati in diversi anni.

Si è deciso di svuotare le vasche e conferire il materiale a un centro di stoccaggio o di utilizzo dell'inerte.

Per costruire le vasche era stata originariamente creata una strada percorribile da un escavatore e da un camion di piccole dimensioni. Tale strada si presenta non completamente percorribile a causa della mancata manutenzione, che ha determinato un eccesso di vegetazione e di irregolarità nel fondo. Prima di poter raggiungere le vasche per svuotarle, bisognava ripristinare anche la viabilità della strada tagliando alcune piante presenti nella carreggiata e raddrizzando i punti che presentavano buche o dossi eccessivamente grandi.

L'intervento sarà di tipo meccanico, a basso impiego di manodopera, con l'uso di escavatore e mezzo di trasporto da cantiere, per lo scavo e l'allontanamento del materiale detritico che riempie le vasche.

Perché le vasche mantengano la loro funzione, devono essere programmati degli interventi, non troppo distanziati nel tempo, di manutenzione ordinaria e svuotamenti saltuari, in funzione dell'intensità degli eventi meteorici e, quindi, dell'entità del trasporto solido del corso d'acqua.



Figura 36: Sesto caso analizzato, località Bivai, comune di Santa Giustina.



Figura 35: Intervento in località Bivai, comune di Santa Giustina, particolare costruttivo.

Caso 6: frazione di Bivai, Comune di Santa Giustina

6.1 Analisi preliminare

Percorrendo la strada che collega Santa Giustina alla frazione di Bivai, frequentemente si passa lungo il piede di ripidi versanti. L'allegato XIII riporta una cartina tratta da Google Maps dell'area interessata.

6.2 Creazione opere di trattenuta per limitare lo smottamento in un versante

Nel tratto oggetto di studio, per circa venti metri, da un versante si distaccavano frequentemente, soprattutto a seguito di eventi meteorici di intensità medio-alta, terra e pietre che arrivavano sulla strada, aumentando il rischio di danneggiamento per le autovetture in transito e il pericolo per le persone.

Su circa metà scarpata oggetto di intervento, sono già presenti delle opere che trattengono e danno stabilità al versante, realizzate in legname e pietrame.

Le cause dei frequenti movimenti erano principalmente la scarsa coerenza del materiale che forma la scarpata, molto friabile e instabile e l'elevata pendenza del versante.

Il terzo fattore che riduceva la stabilità era la mancanza di vegetazione bassa o cotica erbosa, a copertura del versante. La vegetazione avrebbe creato un'azione fortemente stabilizzante perché con le radici avrebbe contribuito a fermare il terreno. Infatti, proprio lungo il pendio, nel tratto in esame, la superficie si presentava nuda e coperta solamente dalle foglie secche cadute dagli alberi poco distanti.

Per risolvere il problema si è pensato di favorire al massimo l'inerbimento. Le radici delle piante darebbero maggiore stabilità agli strati superficiali del suolo. Si è ritenuto, però, che il semplice spargimento di semi non avrebbe portato risultati sperati. I movimenti del terreno sono troppo frequenti perché i semi attecchiscano senza altre azioni, inoltre questa tecnica avrebbe potuto fallire perché, a volte, i movimenti interessavano strati profondi.

Per dare continuità al lavoro già in opera, si è deciso di ampliarlo, proseguendo di pari passo con l'obiettivo dell'inerbimento.

Per giungere all'obiettivo, sono state messe molte foglie secche nelle buche che si erano originate a seguito dei movimenti del terreno, perché marcendo apportassero sostanza organica.

A copertura della sostanza organica è stato steso un tessuto di canapa, a maglie larghe, biodegradabile nel tempo, che la trattiene e dà alle sementi, sparse sopra, la stabilità richiesta per radicare e formare la cotica erbosa. Il telo è stato poi fermato con ganci in metallo lunghi 30 cm.

Sopra il telo sono stati piantati alcuni pali in larice di 1 m di lunghezza e 10 cm di diametro e appoggiati altri pali, di 3 m, lungo la linea di massima pendenza. Sopra questi ne sono stati posti altri, trasversali, anch'essi di 3 m, lungo le curve di livello, come si può vedere dalla Figura 35.

Tutti i pali sono stati poi fissati tra loro con dei chiodi metallici.

Il risultato finale è un insieme di quadrati di 1 m di lato, di tronchi di larice, che impediscono al telo di muoversi e contemporaneamente danno l'immediata stabilità al versante.





Figura 38: Settimo caso analizzato, località Cassani comune di Ponte nelle Alpi.



Figura 37: Settimo caso analizzato, torrente Missiaga comune di La valle Agordina.

Caso 7: Cassani, di Ponte nelle Alpi e torrente Missiaga, di La Valle Agordina

7.1 Analisi preliminare

Nel settimo caso sono state analizzate due situazioni geograficamente distanti, circa 40 km, ma simili per quanto riguarda il problema da risolvere e la soluzione adottata.

Il primo sito si trova nel comune di Ponte nelle Alpi, località Cassani, vicino alla frazione di Arsiè, sul torrente San Piero. Il secondo si trova nel comune di La Valle Agordina, lungo il torrente Missiaga. Si vedano rispettivamente gli allegati XIV (punto 1) e XV per due cartine delle zone in esame tratte da Google maps.

7.2 Taglio della vegetazione lungo l'alveo per evitare possibili sbarramenti

Entrambi questi torrenti non sono stati ben gestiti e sottoposti ad adeguata manutenzione negli scorsi anni per cui la vegetazione arbustiva, soprattutto cespugli, e quella arborea, si sono sviluppate eccessivamente, sia sui versanti sia sull'alveo.

Questo eccessivo sviluppo avrebbe potuto provocare situazioni problematiche, in proporzioni piuttosto gravi, durante gli eventi di piena. In occasione di tali eventi i due corsi d'acqua prendevano facilmente in carico materiale legnoso e lo trasportavano verso valle. Il legname poteva facilmente bloccarsi contro i frequenti ostacoli presenti nella sede del torrente. In una

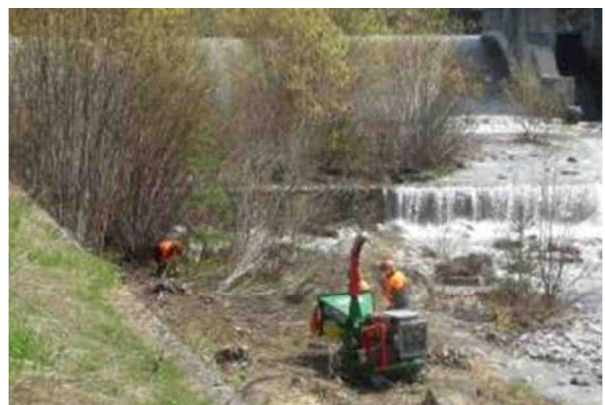


Figura 39: Cippatura del materiale legnoso abbattuto, sul torrente Missiaga, a La Valle Agordina.

prospettiva di medio – lungo termine, lo sbarramento iniziale avrebbe potuto progredire, creare una vera e propria diga e bloccare buona parte dell'acqua, con rischio di esondazioni.

Per ridurre i problemi che si sarebbero potuti creare, è stato ritenuto opportuno compiere un'intensa opera di pulizia dei due alvei.

Le piante grosse sono state abbattute e asportate con l'impiego di un trattore, i tronchi sono stati conferiti a una segheria. Per quanto riguarda la vegetazione più piccola e molto più abbondante, la raccolta con conseguente trasporto e conferimento sarebbe risultata troppo dispendiosa. Non si poteva lasciare in loco la ramaglia intera, dato che il problema si sarebbe aggravato piuttosto che risolto.

Questo inconveniente è stato risolto portando sul posto una macchina cippatrice per ridurre il materiale legnoso in schegge (cips), che sono state lasciate sul posto dato che creano minori problemi della ramaglia intera. A seguito di tale operazione sono stati programmati degli interventi di manutenzione cadenzata, in modo che, in futuro, non si presentino più situazioni di criticità elevata.



Figura 40: Ottavo caso analizzato, località Vallenzai, comune di Mel.



Figura 41: Località Vallenzai, comune di Mel, particolare dell'argine crollato.

Caso 8: località Vallenzai, comune di Mel

8.1 Analisi preliminare

Un altro problema è stato segnalato dal comune di Mel, in località Vallenzai. Si veda l'allegato XVI, per una cartina tratta da Google Maps.

Qui il Rio Lazzon è stato incanalato alcuni anni fa sotto il livello del suolo.

Nella zona in esame il canale presenta un ampio meandro verso destra. Il tratto più colpito dalla forza dell'acqua è di conseguenza proprio la sponda sinistra. Lungo la sponda destra, infatti, era possibile riscontrare, già durante l'analisi preventiva, elevata sedimentazione dovuta alla minore velocità dell'acqua.

L'argine in sinistra orografica è rinforzato in parte con un muro in calcestruzzo armato, in destra orografica, invece, è presente solamente un muro di pietra a secco.

La differenza di scelta tecnica nella costruzione dei due argini era stata probabilmente ipotizzata già al momento della costruzione originaria, per ridurre gli effetti dell'erosione.

8.2 Rinforzo e ripristino di un argine a seguito di un'intensa erosione

Lungo il canale, in un tratto di circa 50 metri, il muro della sponda destra è crollato lasciando cadere molto materiale nell'alveo.

La causa è stata subito identificata vedendo che, sopra l'argine, erano presenti molte piante di grandi dimensioni. Le radici di queste hanno creato delle fessurazioni e indebolito il muro, il peso delle piante ha quindi facilmente dato il via al dissesto.

Per risolvere questo problema la valutazione è stata piuttosto facile. Si è deciso di rimuovere la causa, tagliando la vegetazione soprastante e soprattutto asportando le ceppaie. I frassini, che componevano la maggior parte della vegetazione presente, hanno infatti una buona capacità di crescere nuovamente se la ceppaia rimane nel terreno, con conseguenti problemi futuri.

Togliendo la ceppaia, invece, si lascia spazio solamente all'erba e alla vegetazione minore, in questo modo si prolunga di molto la vita dell'opera.

La seconda fase dell'intervento era incentrata sul ripristino della funzionalità degli argini e svuotamento dell'alveo.



Caso 9: Arsiè, comune di Ponte nelle Alpi

9.1 Sviluppo di un evento franoso a seguito di abbondanti precipitazioni

Poco distante dal cantiere visto nel caso 7 nel comune di Ponte nelle Alpi, le forti precipitazioni di febbraio 2014 hanno provocato un importante fenomeno di dissesto. Nello specifico si è generato uno scivolamento di materiale limo-argilloso di circa 2500 m³. (Figura 42)

Si veda l'allegato XIV punto 2 per una cartina tratta da Google maps.

Le cause sono la grande quantità di acqua precipitata alla fine dell'inverno 2014, la grande quantità di vegetazione arborea presente e la natura geomorfologica del terreno coinvolto.

Durante l'inverno 2013/14, sono caduti molti mm di pioggia in un periodo relativamente breve (circa 2 mesi). Questo fatto ha notevolmente appesantito la massa di terreno ed è stata superata l'elevata resistenza al taglio.

Lo scivolamento è stato ampliato, come si è visto a seguito dell'evento, dalla disposizione degli strati in questo punto, a franapoggio rispetto al versante e con una pendenza di circa 80°.

Ho analizzato il terreno franato. Nella condizione tal quale un decimetro cubo pesa 1,3 kg, perché è stato notevolmente compattato durante l'evento.

Il campione è stato poi completamente imbibito di acqua, lo stesso volume di campione pesa 1.65 kg.

La macro e meso porosità sono state misurate lasciando scolare il campione per due giorni e misurando il volume dell'acqua scolata, 7,5 cm³. Il rapporto percentuale tra l'acqua scolata e il volume totale, 0,75 % è la macroporosità, come indicato nel testo Benini (1972) (nota bibliografica 17).

Il campione è stato poi lasciato asciugare in forno (Temperatura di 110 °C) per alcune ore, in seguito il peso era pari a 1,325 kg. Da questo dato si può calcolare che la porosità totale è,



Figura 42: Scivolamento in località Arsiè di Ponte nelle Alpi.

approssimativamente, il 40 %. Da questo dato si capisce il grado di compressione del terreno in esame, dato che la porosità delle argille solitamente è compresa tra il 46 e il 56 %⁴⁰.

Essendo coinvolto un grande tratto di versante e dato che non suscita particolare preoccupazione, questo intervento non è ancora stato analizzato dagli uffici competenti.

Ho ipotizzato alcune soluzioni attuabili in questo sito. Si potrebbe prima di tutto procedere alla rimozione della corona (separazione tra il corpo di frana e la parte rimasta sul posto) e la rimozione del materiale che ha raggiunto l'alveo. Si può procedere, inoltre a una riduzione di peso a monte del corpo di frana sfoltendo la vegetazione arborea presente.

Non sembrano necessarie altre grandi opere per consolidare il versante e stabilizzarlo, proprio per la mancanza di strutture antropiche nelle vicinanze.

Si dovrà probabilmente intervenire in futuro quando lo smottamento raggiungerà l'alveo.



⁴⁰ A.J. Erickson, B.C. Asleson, J.S. Gulliver, R.M. Hozalski, 2010 Capacity Testing Biologically Enhanced Practices

Caso 10: Località Ronch, comune di Sovramonte

10.1 Analisi preliminare alla VINCA per la manutenzione di un sentiero, a seguito dello scivolamento di una parte di versante

Oltre agli interventi di tipo ingegneristico sopra descritti, durante il tirocinio ho avuto modo di sviluppare delle analisi prettamente ambientali, con l'applicazione a un caso concreto di una metodologia di indagine per determinare se un intervento era attuabile nel rispetto di alcuni parametri legislativi applicati a una zona da salvaguardare.

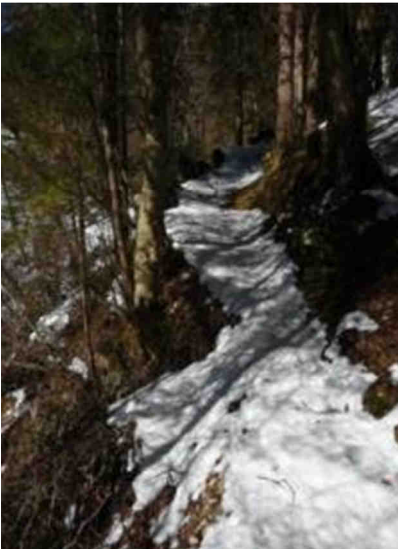


Figura 43: Porzione di sentiero franato in comune di Sovramonte.

Nel comune di Sovramonte, poco distante dalla sede municipale, c'è un sentiero che raggiunge alcune baite isolate in località Ronch, partendo dalla ex Strada Statale del Passo Croce d'Aune.

Lungo il sentiero, un tratto si presenta indebolito ed è ceduto per circa 10 m.

Analizzando il cedimento si nota la causa nell'elevata pendenza della scarpata a valle e nell'incoerenza del materiale costituente.

L'intervento ipotizzato riguardava la messa in opera di alcuni gabbioni, riempiti di materiale lapideo preso nell'alveo del torrente poco distante, che sostenessero il versante e conferissero resistenza al sentiero.

10.2 Procedura seguita

Come per tutti gli interventi, prima di tutto, grazie a un software GIS, sono stati analizzati i vincoli idrologici e ambientali.

Da tale analisi è risultato che il sito oggetto di intervento ricade all'interno di una Zona di Protezione Speciale o ZPS. A causa di questo vincolo, imposto dalle direttive 92/43/CEE, Direttiva Habitat e direttiva 79/409/CEE nota come Direttiva Uccelli, l'intervento deve essere sottoposto a screening preliminare per valutare se l'opera necessita o no di Valutazione di Incidenza Ambientale o VINCA.

Per lo sviluppo dello screening ho preso in considerazione il libro *“La gestione forestale e la conservazione degli habitat nella rete natura 2000”* a cura della Regione del Veneto, scritto da Battisti e Masutti nel 2007, per avere un elenco degli habitat presenti nella ZPS in questione, la ZPS IT 3230087 *“Versante Sud delle Dolomiti Feltrine”*.

Fatto l'elenco degli habitat, ho visto, ancora con strumenti GIS, la cartografia regionale degli habitat approvata con D.G.R. n. 4240 del 31.12.2008.

Grazie a questa cartografia, ho selezionato gli habitat, dall'elenco completo, che sono presenti nell'area in esame.

Una volta identificati gli habitat soggetti all'intervento, ho identificato gli animali e le piante sotto particolare tutela presenti e le caratteristiche di ognuno di questi organismi.

Sapendo quindi le particolari sensibilità dei vari organismi e gli impatti derivanti dalle operazioni, ho determinato se gli animali o le piante caratteristici potessero subire danni dalle lavorazioni.

L'opera preventivata, alla fine dell'analisi, non necessita di VINCA e quindi era possibile procedere alle varie fasi di progettazione e realizzazione.

Nella Figura 43 si può vedere il tratto di sentiero franato a causa dell'elevata pendenza della scarpata sottostante. Nella foto si nota poco la pendenza per la quantità di neve presente.

Al momento della stesura dell'elaborato l'intervento non è ancora stato realizzato, perché la priorità non è elevata.

Conclusioni

Una volta finiti gli interventi, a distanza di qualche tempo, sono tornato in alcuni siti oggetto di analisi per vedere l'efficacia delle opere realizzate.

Ho scelto di recarmi lì a seguito di intense precipitazioni. Da alcuni giorni, infatti, la pioggia si abbatteva con forza nelle zone della bassa provincia di Belluno.

In particolare mi sono recato nella sede del secondo caso analizzato in località Poiatte di Farra d'Alpago, in località Bastiani in comune di Puos d'Alpago, terzo intervento, a Puos d'Alpago, quarto e ad Arsì di Ponte nelle Alpi, settimo intervento.

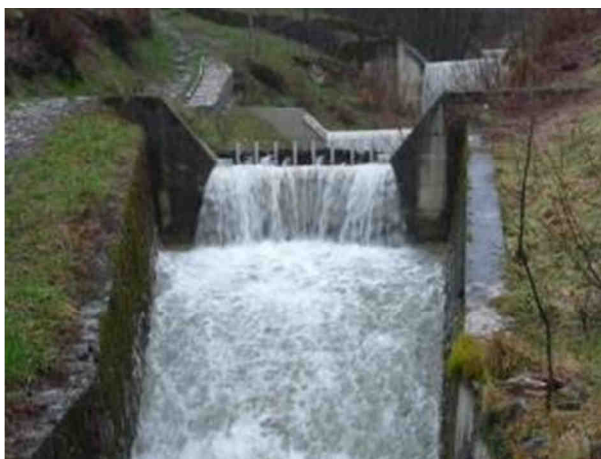


Figura 44: Cantiere di Poiatte, comune di Farra d'Alpago.

Poiatte, Farra d'Alpago.

Come dimostra la Figura 44, la portata è chiaramente molto elevata. La stima che ho fatto è di circa $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il calcolo è stato eseguito misurando la velocità di circa 3 m al secondo, per un'altezza di 15 cm per la larghezza della gaveta di 4 m il calcolo si basa sull'acqua che passa attraverso la briglia di contenimento.

In queste condizioni, la briglia selettiva ha raggiunto il suo scopo trattenendo molto materiale

ma permettendo all'acqua di passare, come si vede dalla Figura 45.

Anche la briglia di contenimento ha svolto egregiamente il suo compito, la gaveta e la sporgenza del bordo, infatti sono pienamente sufficienti per contenere l'acqua presente anche a seguito di eventi eccezionali come quelli dei giorni antecedenti al sopralluogo.

Dalla Figura 45 e dalla Figura 46, si può vedere che l'acqua di stramazzo non logora né il bordo della gaveta né le fondamenta.

I drenaggi sul muro della briglia, inoltre, permettono alla molta acqua a monte di defluire liberamente senza fermarsi.

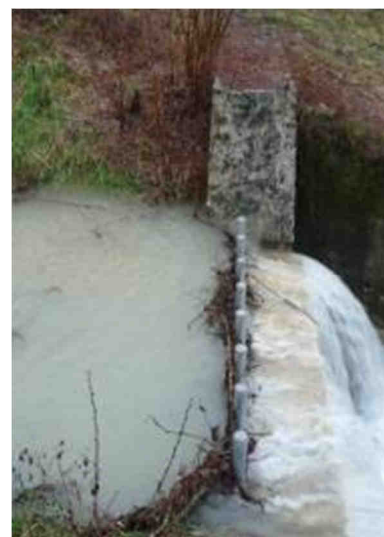


Figura 45: Briglia selettiva costruita a Poiatte.



Figura 46: Briglia di contenimento a Poiatte.

Per quanto riguarda la gabbionata, al momento è stabile, per una valutazione di stabilità bisognerà però effettuare un'analisi a distanza di anni all'intervento.

Località Bastiani di Puos d'Alpago

In località Bastiani, in comune di Puos d'Alpago, oggetto del terzo intervento analizzato, il canale ripristinato e sistemato porta a valle una grande quantità di acqua considerando le dimensioni del canale stesso.

La stima che ho effettuato è di circa $0.15 \text{ m}^3/\text{s}$, calcolata misurando una velocità di 5 m/s la profondità di 5 cm e la larghezza del canale di 60 cm .

Una così grande quantità d'acqua, nelle condizioni iniziali in cui avevamo analizzato il problema, si sarebbe riversata completamente sul prato.

Grazie al canale ripristinato e sistemato, invece, viene asportata gran parte dell'acqua presente.

Il fatto è chiaramente visibile nella Figura 47. Nella foto si vedono, sulla destra (sinistra orografica) numerosi rivoli d'acqua che hanno sciolto la neve presente e si sono riversati all'interno del canale. Prima della realizzazione, l'acqua ora drenata da monte e l'acqua proveniente dalla sinistra orografica avrebbero provocato nuovamente l'allagamento.



Figura 47: Canale località Bastiani di Puos d'Alpago a seguito di un'intensa precipitazione.

Torrente Valda Puos d'Alpago

Anche in questo corso d'acqua, le intense precipitazioni del periodo precedente il sopralluogo hanno aumentato notevolmente la portata.

Ho calcolato fosse di circa $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dati da una velocità di 3 m/s e una sezione di $4 * 0,8 \text{ m}$.

Nella Figura 48 si può vedere proprio il torrente Valda, circa cinquanta metri a valle dell'intervento realizzato.

Non si può sapere se questa pioggia eccezionale avrebbe provocato il tanto temuto cedimento del muro già pesantemente indebolito, sicuramente il rinforzo del fondale ha fornito una sicurezza ulteriore e l'abitato è risultato più protetto.



Figura 48: Torrente Valda a seguito di intense precipitazioni.

Località Cassani, Arsìè, comune di Ponte nelle Alpi

Nel sopralluogo fatto sul torrente San Piero ho potuto constatare che l'alveo resta, anche dopo una stagione, molto pulito e curato, sintomo dell'ottimo lavoro fatto durante l'intervento. Si veda la Figura 49.

Anche a seguito della consistente precipitazione dei giorni precedenti l'indagine, il corso d'acqua ha preso in carico pochissimo materiale vegetale. Il fatto è visibile a valle della zona di intervento, dove si nota l'intensa torbidità dell'acqua ma la completa assenza di legname. Si veda infatti la Figura 50



Figura 49: Zona oggetto dell'intervento di pulizia.

Al termine del presente lavoro è possibile trarre alcune considerazioni sull'esperienza fatta.

Innanzitutto è stato sperimentato personalmente, in modo concreto, un metodo di indagine e di lavoro, applicato alla conoscenza dell'ambiente per quanto riguarda l'idrogeologia e le sistemazioni idraulico forestali. L'analisi è stata aiutata dal confronto tra la realtà e le carte tematiche, geologiche e geomorfologiche, che ha permesso di inserire casi particolari in un contesto più ampio, permettendo così un approccio più corretto.



Figura 50: Torrente San Piero poco a valle della zona di intervento durante una consistente precipitazione.

Oltre che sugli insegnamenti avuti in aula dai Docenti, il presente studio ha potuto contare, nella parte pratica, sull'esperienza dei tecnici del Servizio Forestale, per un lavoro di equipe.

Sono stati presi in esame dei casi reali di dissesto, con l'analisi dei problemi ambientali presenti, che sono stati descritti anche con l'uso di appropriati indicatori matematici ed è stato possibile verificare la validità di quanto è stato fatto. Alcuni approfondimenti hanno richiesto anche lo studio di principi di ingegneria idraulica, per quantificare aspetti di movimento idrico.

E' emersa la complessità di ogni bacino montano, di qualsiasi dimensione, per questo motivo, anche un intervento puntiforme, come la costruzione di una briglia, deve essere preceduto dallo studio approfondito, soprattutto della superficie a monte dell'opera. I casi esaminati hanno dato modo anche di verificare direttamente come ogni bacino, rappresenti un'entità a sé stante, che va studiata in modo autonomo, non potendo pensare, oltre alle indicazioni generali, a soluzioni che possano andare bene per ogni situazione.

La caduta di una frana ha offerto l'occasione di analizzare, pur con mezzi di fortuna, la capacità idrica del terreno dove è avvenuto il movimento, in modo da quantificare almeno una delle cause di questo dissesto.

Alla luce di queste considerazioni, è possibile rilevare che il presente lavoro costituisce, per l'autore un primo approccio di tipo professionale, di studio e di gestione dell'ambiente.

Bibliografia e webgrafia (in ordine di apparizione)

- 1) Bazzoffi P, Ciccarese L. et Al.2013 “Linee guida per la valutazione del dissesto idrogeologico e la sua mitigazione attraverso misure e interventi in campo agricolo e forestale” a cura di ISPRA
- 2) Sergio Rame ilgiornale.it 19/11/2013
- 3) <http://www.meteogiuliacci.it/>
- 4) Giorgio Fontanive “La valanga mortale della Grande Guerra”, L’Amico del Popolo del 20 febbraio 2014 – N.8
- 5) UNESCO. 1972 “Status and Trends of Research in Hydrology” 1965-1974, UNESCO
- 6) <http://dizionarioitaliano.it/>
- 7) Ligato D. et al. 2004, “Atlante delle opere di sistemazioni fluviali” APAT dipartimento di difesa del suolo
- 8) <http://www.geologia.com/>
- 9) <http://pcserver.unica.it/>
- 10) Enciclopedia Treccani
- 11) C.T. Haan, B.J. Barfield, J.C. Hayes, 1994 “Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments” Academic Press
- 12) Scategni P. 1973, “Esperienze di Correzione dei torrenti dissestati di tipo Alpino” seconda edizione Ministero dell’ Agricoltura e delle Foreste. Direzione generale per l’Economia Montana e per le Foreste
- 13) Panizza M. 2007, “Geomorfologia” Pitagora Editrice Bologna
- 14) <http://www.agraria.org>
- 15) <http://www.protezionecivile.regione.lombardia.it/>
- 16) <http://www.altaviamilano.it/>
- 17) Benini, 1972 “L’attuale rinnovamento delle sistemazioni idraulico – forestali”. Ministero dell’Agricoltura e delle Foreste. Direzione generale per l’Economia Montana e per le Foreste
- 18) <http://idra.unipa.it/>
- 19) <http://www.borghiazio.com/>
- 20) Caniato G. e Dal Borgo M. 1988 “Dai monti alla laguna. Produzione artigianale e artistica del bellunese per la cantieristica veneziana”, Venezia editrice.
- 21) <http://www.webdolomiti.net/>
- 22) <http://www.digesa.unict.it/>
- 23) <http://www.acq.isprambiente.it/>
- 24) B.Vigna, G. Calandri “Gli Acquiferi carsici” quaderno didattico SSI nr.12 2001

25) Pellegrini Giovanni Battista, 1983 “Valutazione quantitativa dell’erosione di un bacino idrografico mediante l’analisi tridimensionale del rilievo”.

26) Sacchet A. 1984 “Comune di Castellavazzo” piano economico dei beni silvo-pastorali di proprietà del comune”

27) A.J. Erickson, B.C. Asleson, J.S. Gulliver, R.M. Hozalski, 2010 Capacity Testing Biologically Enhanced Practices

28) Battisti A. e Masutti L., 2007 “La gestione forestale e la conservazione degli habitat nella rete natura 2000” a cura della Regione del Veneto

29) Varnes D.J. 1978 “Slope movements types and processes” T.R.B. Spec. Rep. Nat. Acad. Sci. Washington

30) <https://www.google.it/maps>

ALLEGATO I Visura immobili

Visura per immobile

Stampa effettuata per motivi d'ufficio - non sono consentiti altri usi

Dati della richiesta:	Catasto Terreni FARRA D'ALPAGO (BL) (Codice: D506) Situazione degli atti informatizzati al 31/03/2013
------------------------------	---

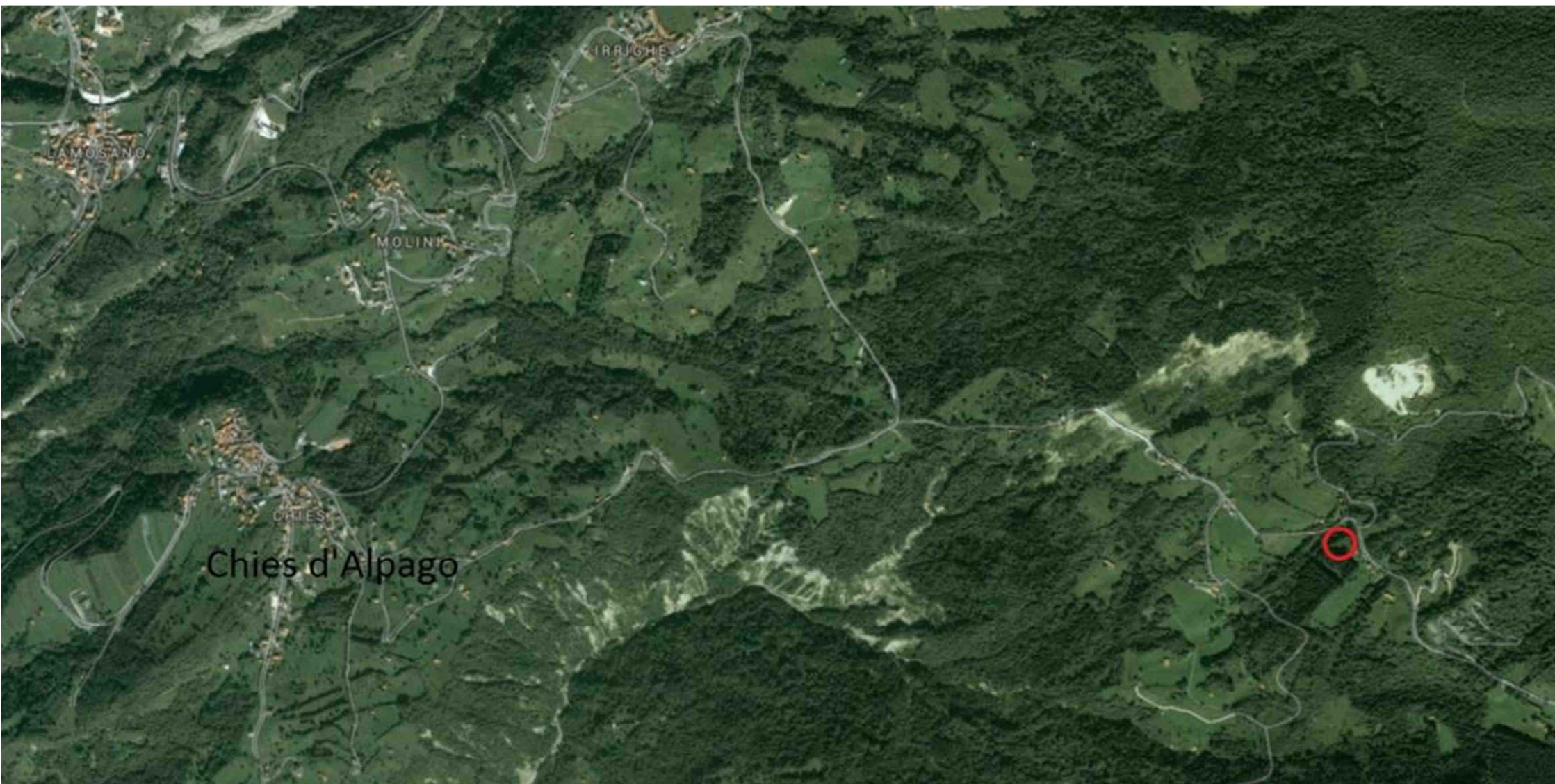
Situazione dell'immobile

DATI IDENTIFICATIVI				DATI DI CLASSAMENTO											
Sezione	Foglio	Particella	Sub.	Porz.	Qualità	Classe	Superficie			Deduz.	Reddito				
							ha	are	ca		Dominic. (L.)	Dominic. (E.)	Agrario (L.)	Agrario (E.)	
			0	0	INCOLT STER	00	0	0	71	0	0	0	0	0	
Partita			0000333												
Annotazioni															
Dati derivanti da			Impianto in atti dal 01/11/1975												

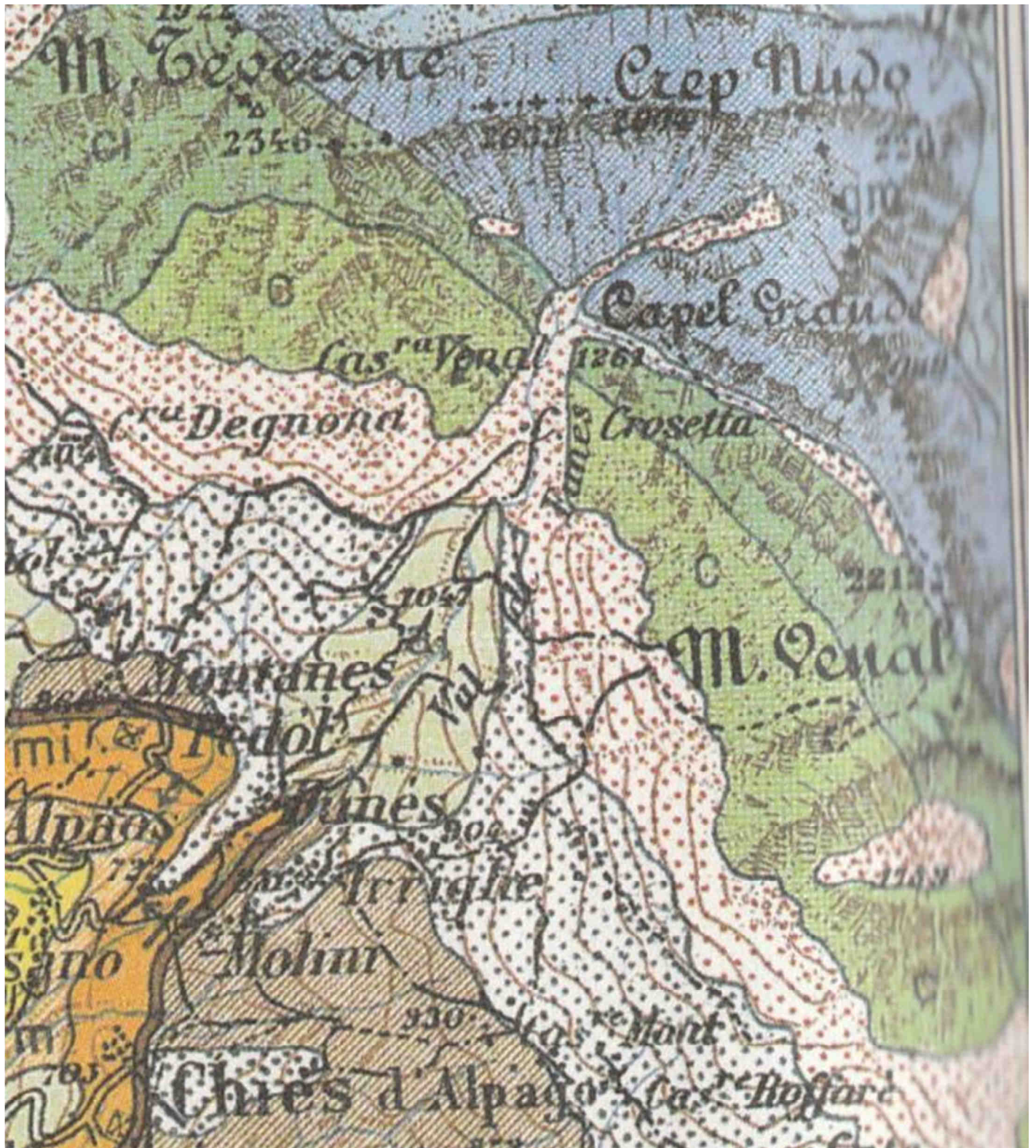
Dati degli intestati

DATI ANAGRAFICI		DIRITTI E ONERI REALI	
		Proprietà 1/2	
		Proprietà 1/2	
Dati derivanti da		Nota di voltura o variazione n. 001754 003/2012 del 15/01/2000 in atti dal 20/01/2012	

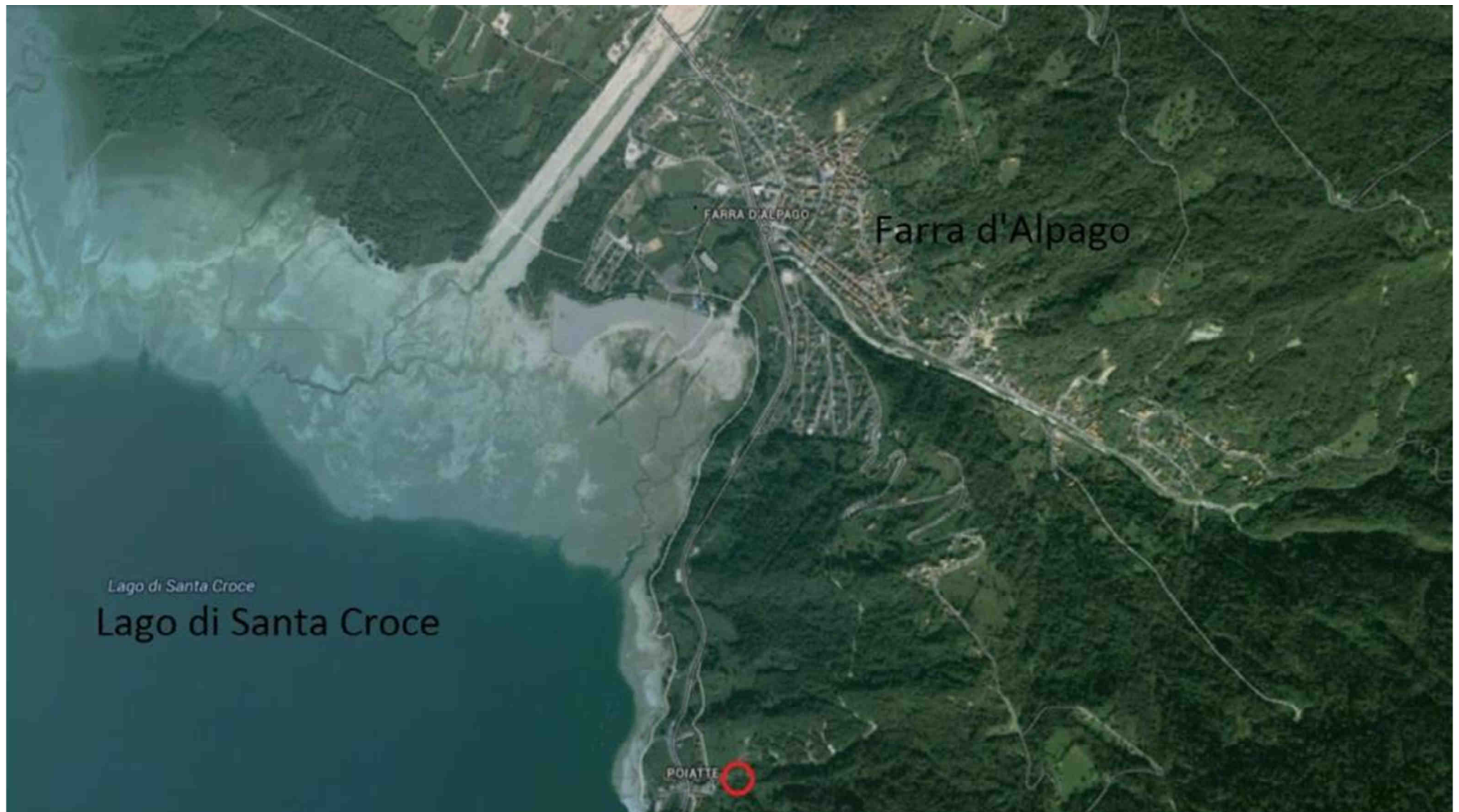
Allegato II Cartina di Chies d'Alpago



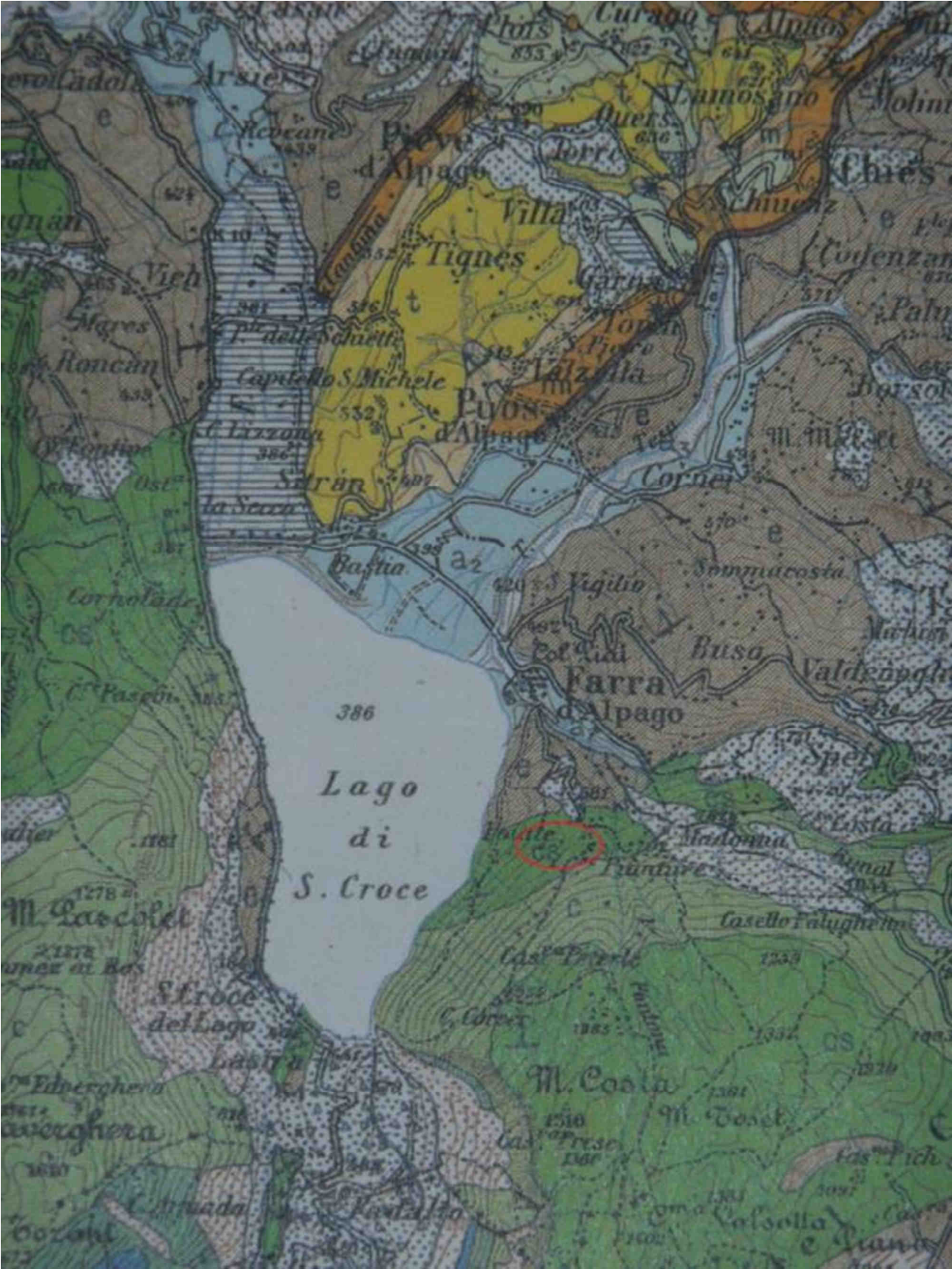
Allegato III Carta geologica Chies d'Alpago



Allegato IV: Cartina di Poiatte (Farra d'Alpago)



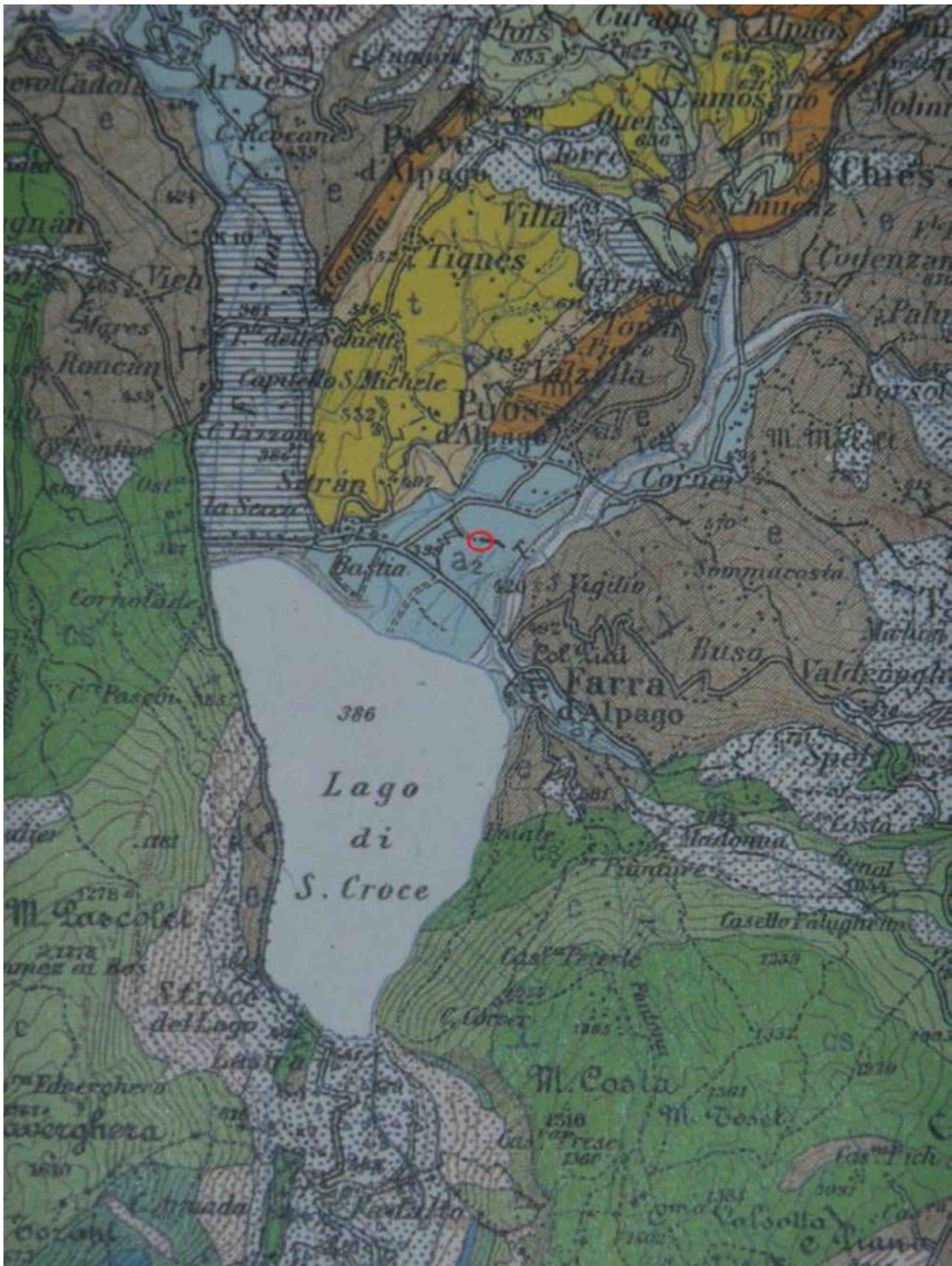
Allegato V: Carta geologica Poiatte (Farra d'Alpago)



Allegato VI: Cartina della località Bastiani (Puos d'Alpago)



Allegato VII: Carta geologica località Bastiani (Puos d'Alpago)



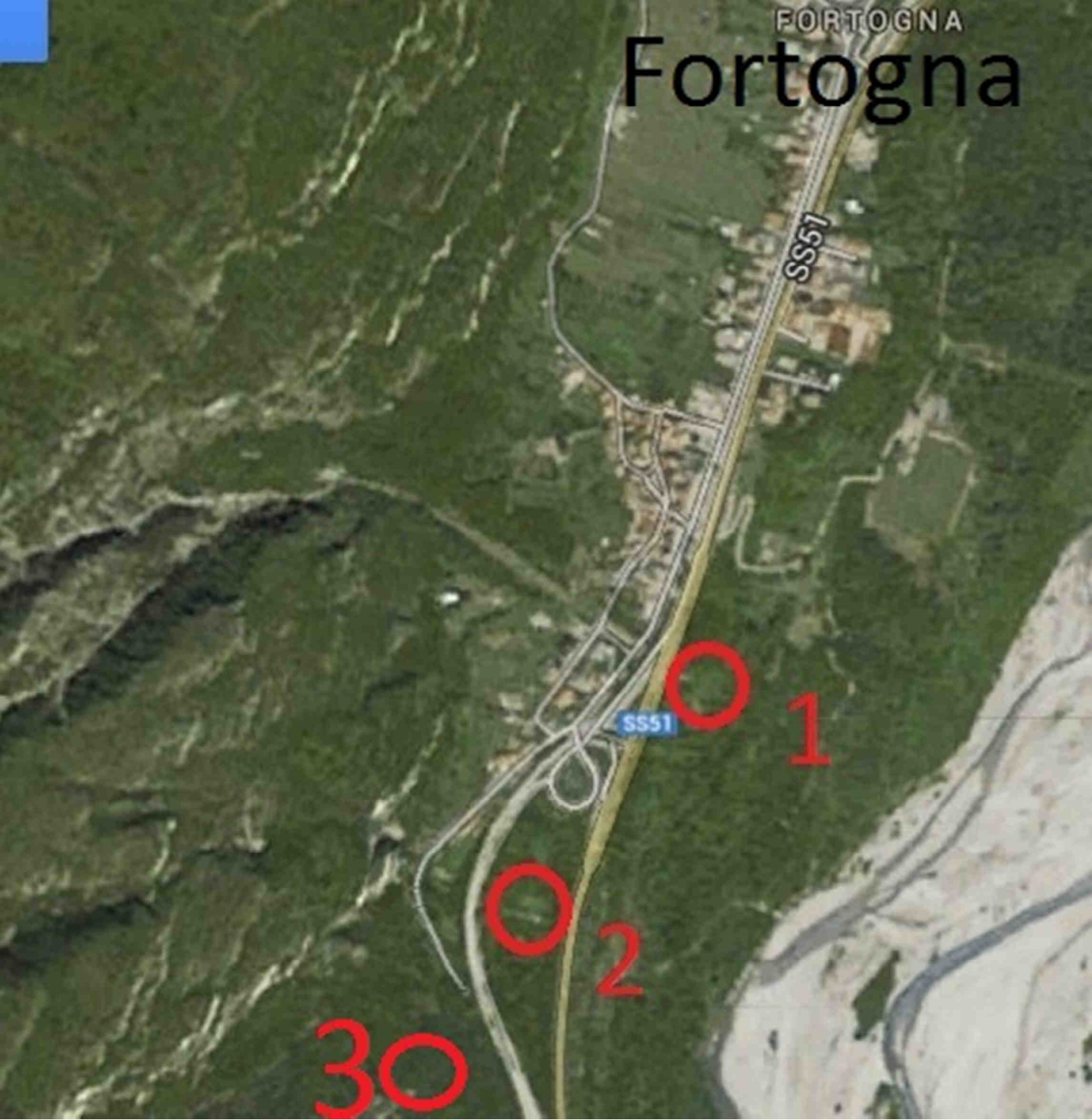
Allegato VIII: Cartina di Puos d'Alpago, evidenziato il tratto di torrente in esame



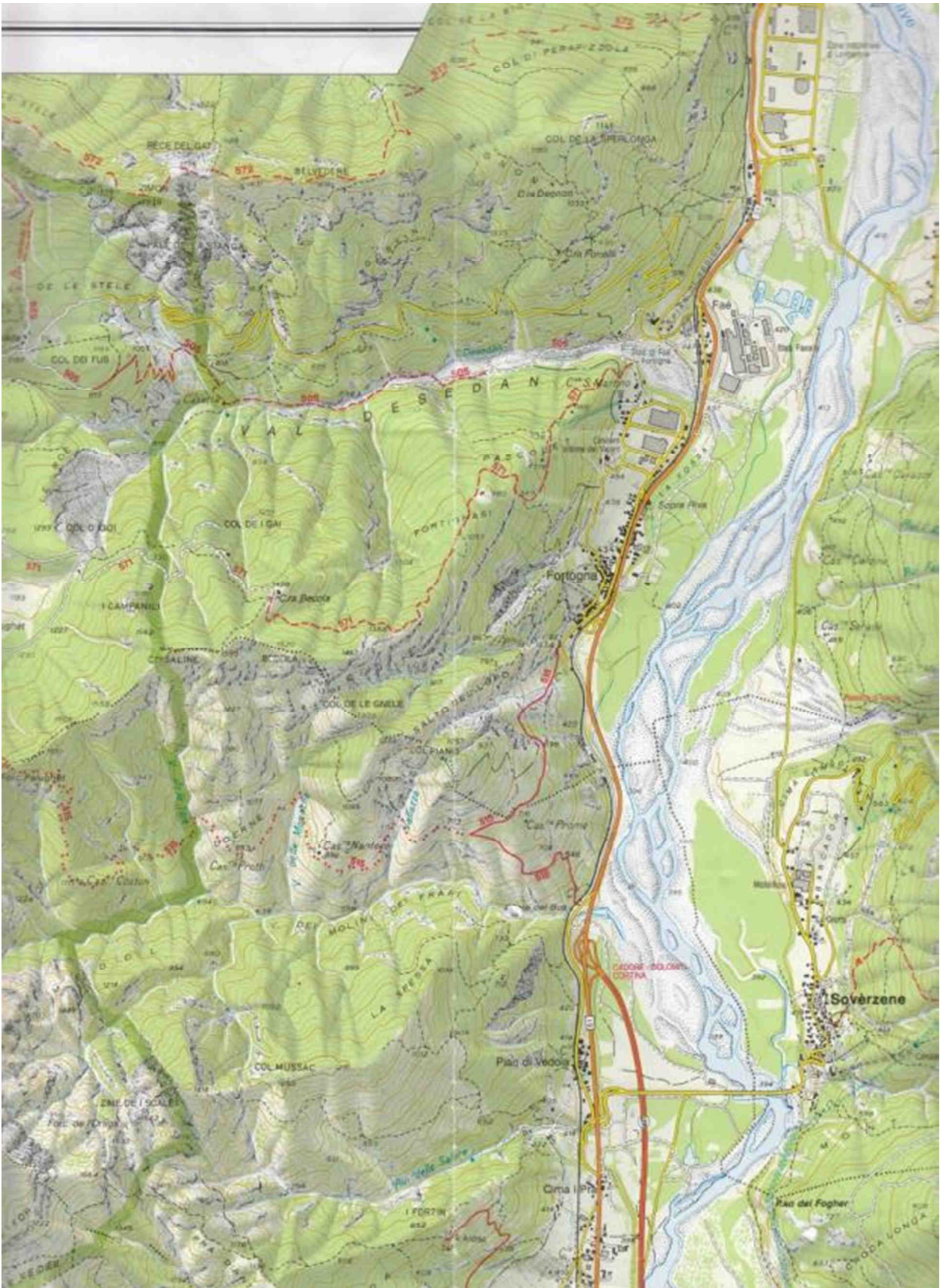
Allegato IX: Carta geologica del bacino del torrente Valda (Puos d'Alpago)



Allegato X: Cartina della zona di Fortogna (Longarone)



Allegato XI: Cartina IGM della zona di Fortogna (Longarone)



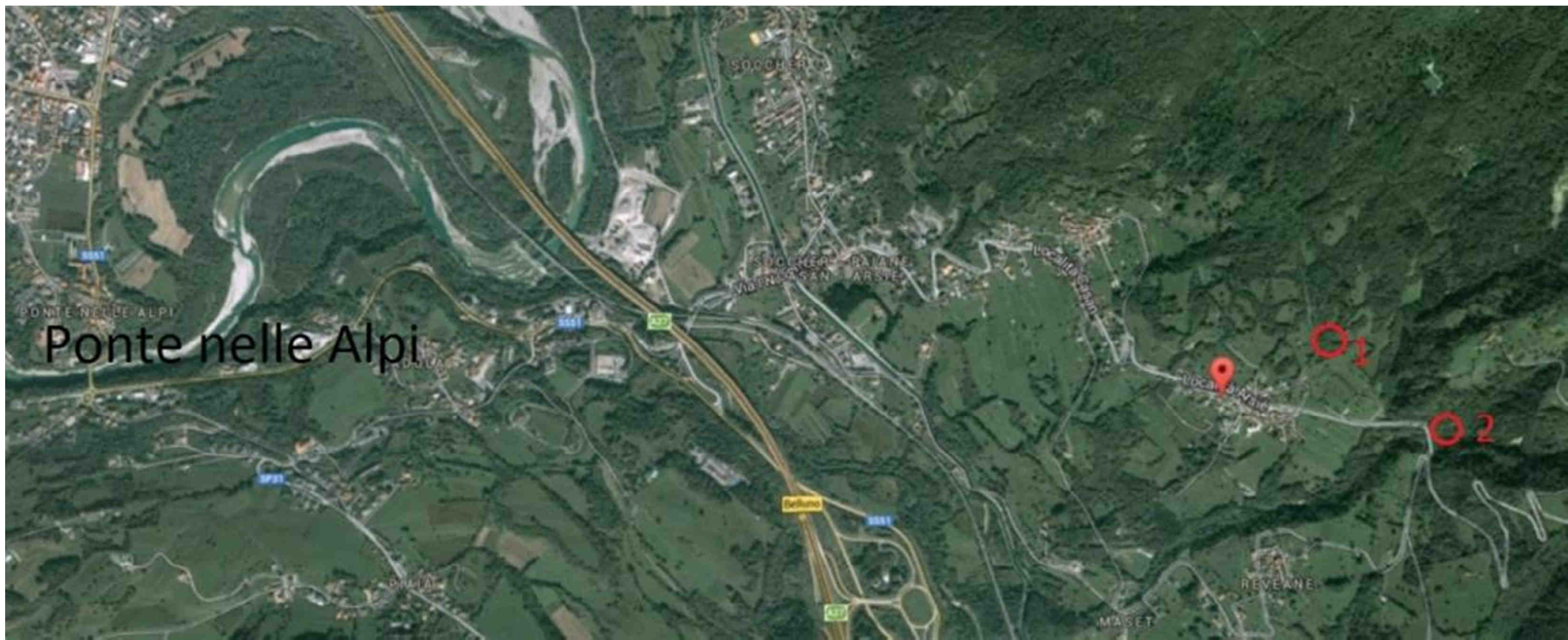
Allegato XII: Carta geologica di Fortogna (Longarone)



Allegato XIII: Cartina della frazione di Bivai (Santa Giustina)



Allegato XIV: Cartina della zona di Arsìè (Ponte nelle Alpi)



Allegato XV: Cartina de La Valle Agordina



Allegato XVI: Cartina della frazione di Vallenzei (Mel)

