

Studio geomorfologico del bacino del torrente Madrasco (VALTELLINA) ed analisi del rischio da colata fangoso-detritica per l'abitato di Fusine (SO)

Giuseppe Esposito

Laureato in Scienze Geologiche, Università di Modena e Reggio Emilia, secondo a pari merito del Premio di Laurea "Gianfranco Bruzzi" – edizione 2009

1. INTRODUZIONE

Il presente studio ha analizzato un particolare fenomeno che concorre a modellare la catena alpina, e non solo, ma che è anche responsabile di ingenti danni ai centri abitati, provocando talvolta la perdita di vite umane. Si tratta delle colate di fango e detrito (*muddy - debris flow* in letteratura anglosassone) che si verificano in seguito a rilevanti eventi temporaleschi o piogge intense prolungate. Spesso, le colate si incanalano nelle vallate secondarie per poi espandersi sui conoidi che fanno da raccordo con le valli principali; qui sopraggiungono in modo alquanto impetuoso essendo caratterizzate da notevole velocità ed energia di impatto, per poi arrestarsi depositando il materiale trasportato. Se a questo contesto naturale si sovrappone il tessuto antropico, la pericolosità da colata dei bacini alpini si trasforma in rischio per la popolazione. Infatti, a causa dell'ottima posizione, leggermente più elevata rispetto al fondovalle, ed all'esposizione all'irraggiamento, sui conoidi alluvionali alpini sono sorti insediamenti abitativi che da piccoli nuclei, in qualche caso, sono diventati importanti centri abitati con relative infrastrutture. Il presente studio si è focalizzato su una valle laterale sinistra della Valtellina, la Valmadre, costituita dal bacino idrografico del Torrente Madrasco, compreso nel territorio comunale di Fusine (SO). Si tratta di una valle ad andamento N-S,

localizzata lungo il versante Nord delle Alpi Orobie (Fig.1), che si raccorda con il fondovalle principale mediante il conoide sul quale è sorto l'abitato di Fusine. Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche e climatiche rendono questa zona molto instabile e pericolosa, come dimostrato anche dai numerosi eventi alluvionali avutisi nei secoli scorsi. Ciò espone Fusine al rischio di colate fangoso-detritiche torrentizie, e lo studio in oggetto ha analizzato tale rischio quantificandolo con dati numerici e rappresentando i differenti livelli mediante cartografie di dettaglio. Inoltre, sono state proposte delle misure di prevenzione da adottare per garantire la pubblica incolumità e la salvaguardia dei beni materiali degli abitanti a rischio.

2. CARATTERISTICHE GEOAMBIENTALI DEL BACINO STUDIATO

2.1 Caratteristiche geologiche

L'ossatura geologica della Valmadre è costituita da due formazioni principali, quella degli "Scisti di Edolo" e quella degli "Gneiss di Morbegno" (GROSSI & CONFORTO, 2002). Entrambe sono delle formazioni di tipo metamorfico interessate da superfici di discontinuità a giacitura sub-verticale che suddividono gli ammassi rocciosi in numerosi blocchi, anche di notevoli dimensioni, il più delle volte situati in condizioni di precaria stabilità lungo i versanti ad elevata pendenza. Si tratta prevalentemente di faglie e fratture originatesi dall'intensa attività tettonica dei principali lineamenti presenti in zona, quali la linea Insubrica e la linea Orobica, rispettivamente a Nord ed a Sud della valle. A questa particolare situazione tettonica si associa il carattere scistoso di tali rocce, con piani di scistosità disposti prevalentemente a franapoggio rispetto ai versanti, il che contribuisce a renderle ulteriormente deboli dal punto di vista meccanico e ne determina un'elevata propensione alla fratturazione (BRAGA, 1987). La formazione degli "Gneiss di Morbegno" comprende gneiss biotitici e micascisti caratterizzati da un medio grado di fratturazione, mentre la formazione degli "Scisti di Edolo" (Fig.2) comprende esclusivamente micascisti con un alto grado di fratturazione (GROSSI & CONFORTO, 2002).



Figura 1 - La X in giallo indica l'ubicazione dell'area di studio.



Figura 2 - Un affioramento della formazione degli "Scisti di Edolo".

2.2 Caratteristiche geomorfologiche

Il bacino del torrente Madrasco, sotteso all'apice del conoide, costituisce la Valmadre (Fig.3), una valle fluvio-glaciale ad andamento Nord-Sud che, durante il Pleistocene, era occupata da un ghiacciaio. A causa di

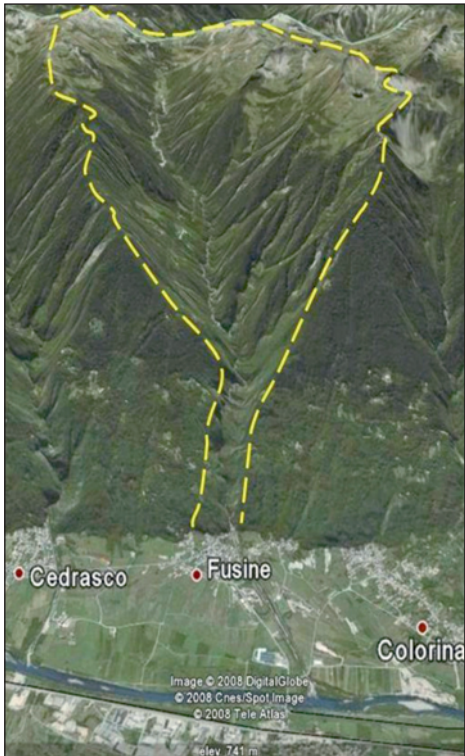


Figura 3 - In giallo è delimitato il bacino del torrente Madrasco (immagine tratta da Google Earth).

un fondovalle meno approfondito rispetto a quello della Valtellina, la Valmadre è considerata una "valle sospesa", tant'è che la sua confluenza nella valle principale era sicuramente marcata da un salto morfologico, sede di cascate con la fusione ciclica dei ghiacciai (BRAGA, 1987). In seguito all'attività del torrente, con la deposizione di notevoli quantità di detrito allo sbocco della valle, si è formato il conoide di deiezione sul quale sorge l'abitato di Fusine.

Dal punto di vista morfografico, la Valmadre può essere suddivisa in due settori; nella parte medio-alta presenta una morfologia fluviale a V, con pendenze dei versanti comprese tra 35° e 45°, mentre il tratto finale è una forra con pareti sub-verticali che delimitano il corso del Madrasco (BRAGA, 1987).

Tutto il bacino, ma in particolar modo il versante sinistro, è caratterizzato da numerosi canali che spesso rientrano in sottobacini idrografici continuamente alimentati da acqua e detrito.

Sono presenti frane di varia tipologia. Le più estese sono delle paleofrane che risalgono al periodo post-glaciale, caratterizzate da un lento scivolamento delle coperture moreniche sul substrato metamorfico. Altri tipi di frane ricorrenti sono quelle da crollo e scivolamento in roccia, localizzate per lo più nella media e bassa valle, dove i versanti sono più ripidi ed il substrato metamorfico, densamente fratturato, è più esposto. Non mancano *soil slip*, ormai inattivi, in zone che sono però ad alta suscettibilità, con suoli caratterizzati da una copertura prativa o boschiva che possono facilmente saturarsi e fluidificarsi in determinate condizioni pluviometriche.

Un ulteriore agente che contribuisce al modellamento dell'intero bacino è costituito dalle valanghe, che talvolta trasportano a valle ingenti quantità di alberi e detriti misti a neve, creando degli sbarramenti, sia lungo i canali, sia al loro sbocco sul fondovalle (GROSSI & CONFORTO, 2002).

Per quanto riguarda il corso d'acqua, la sua lunghezza è di circa 12 km e la sua pendenza è abbastanza pronunciata, al punto che attraversa un dislivello di circa 2000 m dalla sorgente alla foce. Nella tabella 1 vengono riassunti i parametri morfometrici del bacino (FIORASO, 2000).

Talvolta, sul substrato metamorfico si ritrovano le coperture quaternarie costituite da depositi morenici, depositi detritici di versante, accumuli di frane, depositi alluvionali e di conoidi fluvio - torrentizi.

I depositi morenici sono quelli rilasciati dai ghiacciai che caratterizzavano la valle durante il Pleistocene; sono costituiti da ghiaia e blocchi immersi in una matrice sabbioso-limosa o totalmente limosa, in una proporzione che dipende dall'ubicazione topografica. Da quest'ultima dipendono anche gli spessori e le tessiture, mentre il loro consolidamento è variabile in base ai carichi che hanno subito nel

Tabella 1

Bacino	Sottobacino	Area (Km ²)	Perimetro (Km)	Lungh. Media (Km)	Altitud. Max. (m)	Altitud. min. (m)	Energia del rilievo (m)	Altitud. Media (m)	Pendenza media (°)	Form factor
F. Adda	T. Madrasco	29,964	25,863	10,318	2516	330	2186	1762	38	0,253

tempo, ed al grado di cementazione. Affiorano principalmente nell'alta valle ed alle quote elevate. I depositi detritici sono quelli dovuti alla continua disgregazione del substrato metamorfico dove esso non risulta protetto da alcun tipo di copertura. I blocchi ed i ciottoli che derivano da questa alterazione, con successivo distacco, costituiscono forme di deposito come le falde detritiche ed i coni di detrito (Fig.4). Quando il trasporto del detrito all'interno dei canali è operato dalle acque di ruscellamento superficiale, si creano dei conoidi fluvio-torrentizi allo sbocco sul fondovalle, che rappresentano un ulteriore tipo di deposito presente in tutto il bacino. Qui, il detrito risulta immerso in una matrice fangosa.

2.3 Caratteristiche dell' uso del suolo

Il bacino presenta diversi tipi di vegetazione, tipici dell'ambiente alpino, che variano soprattutto in base all'altitudine. Dal fondovalle sino a circa 1200 m si ritrovano castagni misti a querce, aceri, tigli, noccioli ed abeti bianchi. Salendo di quota, fino a 1800 m si notano gli estesi boschi di conifere con abeti rossi, cembri, larici e rododendri. Successivamente, la vegetazione cambia da arborea ad erbacea, con zone a prato e pascolo fino ai 2200 m, al di sopra delle quali vi è roccia affiorante



Figura 4 - Uno dei numerosi cono di detrito presenti nel bacino.

colonizzata da muschi e licheni. Per quanto riguarda l'antropizzazione del bacino, sono presenti diversi insediamenti abitativi, ormai destinati ad un uso occasionale: il più importante è quello di Valmadre. Numerose sono le baite utilizzate dai pastori oppure a disposizione di eventuali escursionisti di passaggio, mentre diversi sono i sentieri che tagliano i versanti per raggiungere soprattutto gli alpeggi dove viene portato il bestiame nel periodo estivo. Le attività antropiche sono relative soprattutto alla pastorizia e scarsamente all'agricoltura, mentre in alcune zone vengono praticati i tagli boschivi per la produzione di legna.

3. L'ABITATO DI FUSINE

Il Comune di Fusine è situato alla base del versante Orobico della media Valtellina, in sinistra idrografica del fiume Adda, e ricade nella Provincia di Sondrio. Il suo territorio si estende su di una superficie di 3752 ettari, con un'altimetria variabile dai 270 m ai 2516 m, ed è quasi tutto occupato dalla Valmadre. Il centro abitato (Fig.5) è situato sul conoide fluvio-torrentizio che raccorda la Valmadre alla Valtellina, formato dalle successive alluvioni del Torrente Madrasco allo sbocco del suo bacino. Il conoide ha una superficie di 1100 m² ed una pendenza media di 4°. Attualmente si può considerare ancora attivo, visto che non si escludono eventuali piene o colate del Madrasco che possono depositare ancora una volta materiale fangoso-detritico.

A causa della morfologia favorevole, della presenza del torrente, e più a valle anche del Fiume Adda, fin dal 1300 l'uomo si è insediato su tale conoide. I primi sono stati coloro che lavoravano nelle fucine dove veniva lavorato il ferro, da cui è derivato il nome del paese. La vicinanza del torrente è stata fondamentale poiché le sue acque venivano sfruttate per l'approvvigionamento idrico, per l'agricoltura, per la zootecnia, e per azionare i magli delle fucine e delle segherie. Oltre che a basarsi su un'economia agricola, la comunità di Fusine ha sfruttato le proprie risorse per avviare anche un'attività industriale. Attualmente, il paese conta circa 660 abitanti.



Figura 5 - Il conoide di Fusine visto dal versante opposto; il colpo d'occhio dimostra la posizione a rischio del centro abitato allo sbocco del bacino.

4. FASI DELLA RICERCA E RISULTATI OTTENUTI

4.1 Ricerca ed analisi delle notizie pregresse

La prima fase dello studio si è svolta presso l'archivio comunale di Fusine per la ricerca di notizie storiche relative a dissesti pregressi. Sono stati consultati tutti i faldoni appartenenti alle categorie X e XV, contenenti rispettivamente gli atti relativi ai Lavori Pubblici ed alla Protezione Civile. Gli atti consultati sono compresi in un intervallo di tempo che va dal 1816 al 2008, in cui sono stati individuati 4 eventi storici di colata fangoso-detritica del torrente Madrasco, cioè quelli del **1844**, **1885**, **1911** e **1987**; di questi eventi si ha anche un maggior numero di informazioni disponibili, avendo avuto conseguenze catastrofiche. Riguardo alle vittime non sono state trovate notizie se non per l'evento del 1911, il quale avrebbe provocato tre vittime secondo il sistema informativo sulle catastrofi idrogeologiche del GNDCI – SICI.

4.2 Rilevamento geomorfologico ed analisi fotointerpretativa

All'indagine storica sono stati affiancati un rilevamento di campagna ed un'analisi fotointerpretativa multitemporale, mirati ad individuare eventuali criticità geomorfologiche e ad accertare lo stato attuale di dissesto del bacino.

Per quanto riguarda il corso d'acqua, dopo l'ultimo evento del 1987, l'alveo ha subito delle marcate modificazioni che attualmente determinano un'azione erosiva da parte della corrente nei confronti di porzioni di versante mai coinvolte, ed un'accelerazione delle acque in alcuni tratti dove è in aumento l'erosione di fondo e di sponda, incrementando così l'instabilità del bacino.

Un altro elemento rilevante è l'enorme quantità di detrito presente nei canali (Fig.6). Si tratta di detrito eterometrico, la cui pezzatura varia da circa 10 cm³ a circa 15 m³, che deriva da diversi processi in atto lungo i versanti: una parte dai crolli che coinvolgono i fianchi rocciosi e dall'erosione di sponda; una parte è di origine morenica e viene rimobilizzata dalle acque di piena provenienti dalle testate o dagli interi sottobacini, a cui i canali principali sono connessi; un'altra parte è costituita dal detrito depositato dalle valanghe. Una particolare situazione, che è stata riscontrata soprattutto nei canali del versante sinistro, è data dagli



Figura 7 - Esempio di serbatoio di detrito individuato in un canale del fianco sinistro della valle.

accumuli detritici depositi su gradini morfologici a minore pendenza che si ritrovano all'interno delle incisioni vallive, costituendo una sorta di "serbatoi di detrito" (Fig.7). Oltre al detrito, è stata notata anche l'abbondante presenza di tronchi secchi e vegetazione che, in alcuni punti, ostruiscono il deflusso. A destare preoccupazione sono anche le numerose frane quiescenti che caratterizzano i fianchi vallivi del bacino. Si tratta di frane a diversa cinematica, per lo più da scivolamento rototraslativo e da crollo, alcune delle quali si sono attivate durante l'evento del 1987, altre in precedenza. Ulteriori frane risalgono al periodo post-glaciale, la cui attivazione è stata subordinata al ritiro delle masse glaciali: esse risultano le più estese. Il problema legato alle frane è il possibile sbarramento dell'alveo principale che può originare dei laghi, molto ricorrenti nelle vallate strette ed instabili come la Valmadre. Il pericolo ad essi connesso è lo sfondamento dell'accumulo ed il rilascio improvviso di una grande massa di acqua e detriti che, giunta allo sbocco in conoide, può causare danni veramente gravi. Tale dinamica si è verificata durante l'ultimo evento del 1987. Ritornando alle frane, in molte zone, soprattutto nei pressi della testata dei sottobacini e dei canali, e lungo i loro fianchi, sono state notate nicchie di soil slip ormai inattive, ma che dimostrano come tali zone siano particolarmente suscettibili anche a tali dissesti. Le frane da crollo forniscono un'ali-



Figura 6 - Tre immagini riferite a tre canali diversi, tutti caratterizzati da detrito ed altro materiale in alveo; in caso di piogge intense tutto ciò può essere facilmente mobilizzato e trasportato sul fondovalle.



Figura 8 - Nella foto in alto si nota il fenomeno dell'erosione di sponda, attualmente attivo; nella foto in basso si nota una frana in materiale morenico provocata dallo scalzamento al piede del corso d'acqua.

quota importante di detrito e sono più sviluppate dove il substrato metamorfico risulta affiorante. Molte di esse sono state individuate nei corpi di frana quiescenti di dimensioni maggiori; si tratta di frane secondarie, per lo più recenti e di piccole dimensioni, provocate in gran parte dallo scalzamento al piede delle acque del Madrasco (TRIVELLA, 2005), e possono essere considerate come dei "marker" che evidenziano la continua attività erosiva del torrente, e le zone dove essa è più concentrata.

Inoltre, nella parte alta del bacino, ci sono molti conoidi allo sbocco dei canali che costituiscono delle importanti riserve di detrito, così come i vari corpi di frana in materiale morenico, presenti sia sul fianco destro che sinistro, ed originati soprattutto dall'erosione di sponda del torrente (Fig.8).

Per quanto riguarda le criticità riscontrate in conoide, in questa zona il torrente risulta incanalato in argini artificiali costituiti da scogliere, fino alla sua confluenza nel fiume Adda. Questa regimazione è idonea a contenere le piene ordinarie del torrente ma non quelle straordinarie, che sono associate anche ad un maggiore trasporto di materiale solido. Ciò si è constatato nell'ultimo catastrofico evento del luglio 1987, quando il materiale trasportato si è infine depositato sul conoide invadendo il centro abitato, proprio perché gli argini realizzati non erano stati calcolati per eventuali colate fangoso - detritiche. Dopo quell'evento sono stati realizzati interventi nel tratto regimato del torrente. Infatti, sono state costruite delle soglie nella zona apicale del conoide per smorzare la velocità della corrente e favorire la sedimentazione del materiale trasportato, anche se, in caso di colata, è difficile che esse possano contribuire ad evitare l'intasamento dell'alveo. Anche gli argini sono stati rinforzati e rialzati ma le dimensioni dell'alveo sono rimaste le stesse, sia in larghezza sia in profondità, così come il ponte che è stato ricostruito nello stesso punto in cui era nel 1987, ed alla stessa distanza dal fondo alveo (Fig.9).

Dalle notizie storiche e dalle immagini relative ai fenomeni avutisi in passato, si è visto che, durante le piene o le colate, il torrente ha quasi sempre causato i danni maggiori in sponda destra. Ciò perché l'alveo canalizzato non è stato costruito seguendo la retta generatrice del conoide, che in maniera immaginaria lo taglia simmetricamente, ma si è scelto di spostarlo verso sinistra rispetto ad essa. Ciò implica che la corrente, in caso di piena straordinaria, tende ad esercitare una notevole pressione contro l'argine destro, quello che delimita l'abitato di Fusine. A complicare la situazione attuale è lo stato di precaria manutenzione in cui vige l'alveo canalizzato.

La forra retrostante l'apice del conoide, inoltre, è caratterizzata da un notevole pericolo di crollo che interessa le pareti rocciose, tale che la caduta nell'alveo di eventuali massi potrebbe non permettere il regolare deflusso delle acque. Tracce di questi grandi massi sono state ritrovate



Figura 9 - Il ponte per Colorina il 18 luglio 1987 (sinistra) e ad ottobre 2008 (destra).

proprio nei pressi dell'apice del conoide, in località "Pessolo", dove dal fondo di alcuni terreni privati spiccano le sporgenze di vecchi blocchi, probabilmente depositati anche dalle colate avutesi in passato.

4.3 La cartografia tematica

Per quanto riguarda l'area del bacino, durante l'attività di campo sono state riportate in carta le aree dove è presente detrito potenzialmente mobilizzabile, e quelle dove vi è substrato affiorante in cui la suscettibilità ai distacchi di singoli blocchi rocciosi ed alle frane da crollo è particolarmente alta. Tali dati sono stati riportati su base topografica CTR 1:10.000 della Regione Lombardia. Questi dati sono stati interfacciati con un'altra cartografia, quella dell'uso del suolo, realizzata attraverso l'analisi delle foto aeree disponibili presso l'aerofototeca del CNR-IRPI di Torino, e quelle fornite dal Comune di Fusine. L'analisi parallela di queste due cartografie ha permesso di realizzare la "Carta delle aree sorgenti di detrito" (Fig.10). La funzione principale di tale cartografia è l'individuazione delle aree in cui è presente detrito mobilizzabile e quelle in cui vi è un'alta suscettibilità nel formarsi, per cui può essere sfruttabile sia per indirizzare eventuali interventi di carattere strutturale, sia per localizzare i punti più favore-

voli all'installazione di eventuali sistemi di monitoraggio per le colate.

Riguardo l'area del conoide, sono state prodotte più cartografie in modo da essere incrociate per giungere a quella finale.

La prima cartografia realizzata è stata la "Carta degli spessori dei depositi relativi alla colata del 1987" (Fig.11): in pratica, è stata ricostruita graficamente la colata del 1987, caratterizzandola in base agli spessori del materiale depositato. Tale carta è stata prodotta mediante l'analisi delle foto aeree, di quelle scattate da elicottero i giorni seguenti l'evento, ed attraverso un rilievo di campagna mirato a ricavare gli spessori dei depositi.

La carta successiva è la "Carta della suscettibilità all'alluvionamento per colata" (Fig.12). Si è optato per tre livelli di suscettibilità (alta, media e bassa) e la loro distribuzione è stata scelta considerando i danni e gli spessori dei depositi relativi alla colata del 1987.

Una terza carta è quella della destinazione d'uso del territorio, in cui tutta l'area suscettiva all'alluvionamento è stata suddivisa in base a quattro classi di uso del suolo (agricola, residenziale, industriale, uso pubblico e sportivo).

La carta finale è la "Carta delle criticità in conoide" (Fig.13). Essa è stata ottenuta a partire da una matrice che ha permesso l'incrocio dei diversi livelli di suscetti-

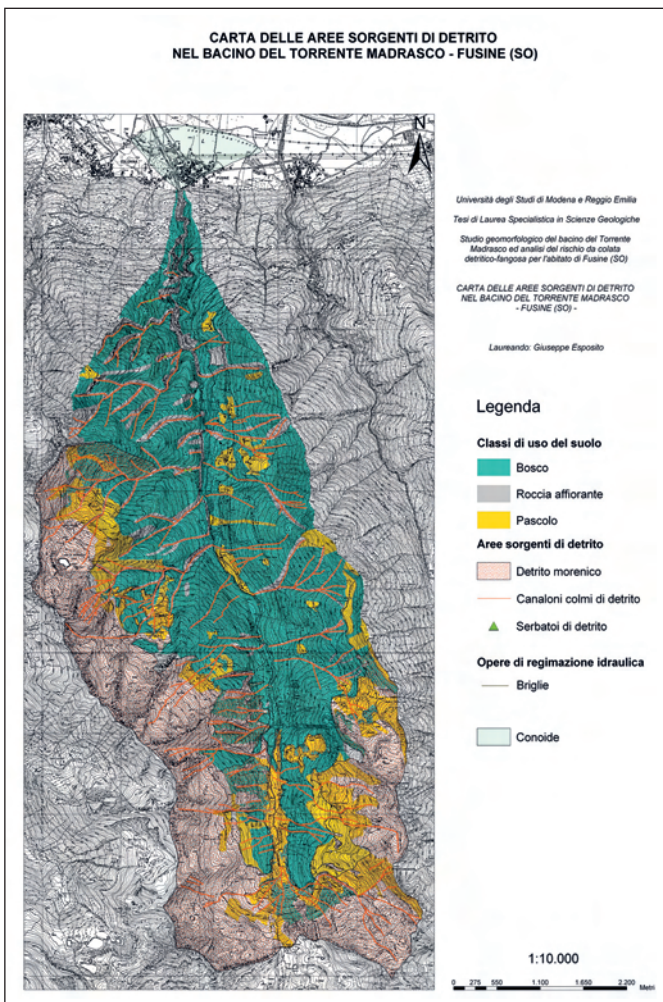


Figura 10 - Carta delle aree sorgenti di detrito.

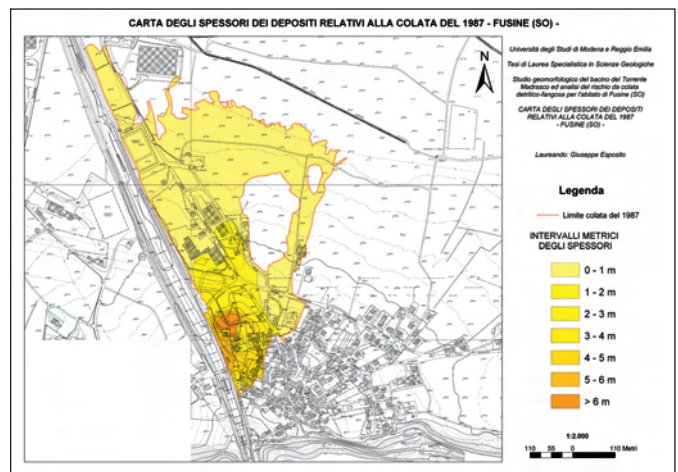


Figura 11 - Carta degli spessori dei depositi relativi alla colata del 1987.

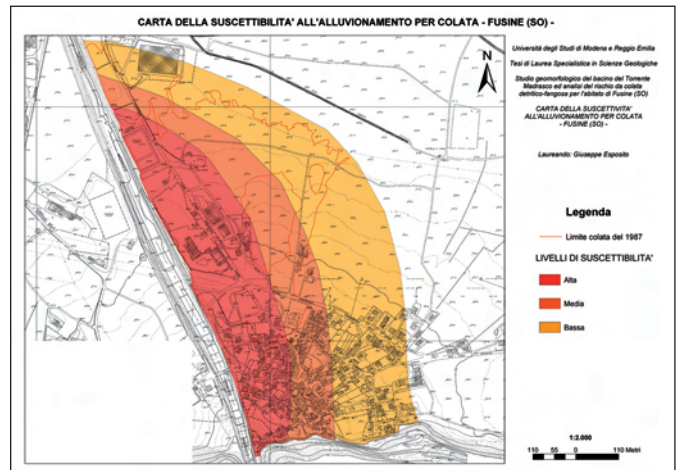


Figura 12 - Carta della suscettibilità all'alluvionamento per colata.

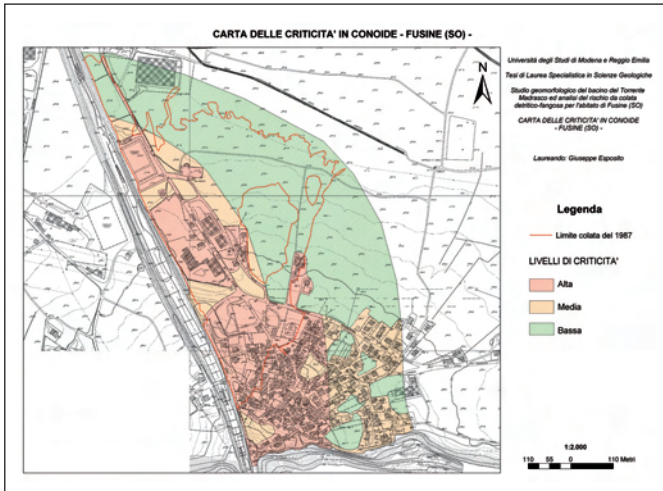


Figura 13 - Carta delle criticità in conoide.

bilità con le classi di uso del suolo, da cui sono stati ricavati tre livelli di criticità (alta, media e bassa); in base ad essi è stata suddivisa l'area suscettibile. Tale cartografia può rappresentare uno strumento fondamentale nell'ambito delle pianificazioni dell'emergenza, i cui lineamenti vengono descritti e circostanziati all'interno dei piani di Protezione Civile, che, come prevede la Legge, ogni comune dovrebbe avere. Può rappresentare un valido strumento di previsione e può essere utilizzata per programmare interventi di prevenzione, al fine di limitare i danni o evitarli nel caso si verificasse il fenomeno ipotizzato, cioè in emergenza. Le precedenti cartografie non comprendono la restante parte del conoide, in Comune di Colorina (SO), per l'indisponibilità della relativa carta topografica.

4.4 Calcoli idrologici e del potenziale detritico sintetizzare

Prendendo come riferimento lo studio di Tropeano e Turconi del 1999, è stato possibile stimare il potenziale detritico del bacino, ovvero la quantità di detrito instabile che può essere mobilizzato. Questo dato non pretende di essere il valore perfetto che definisce la quantità di detrito mobilizzabile esatta, bensì è più giusto considerare il suo ordine di grandezza, che sembra coincidere con quello degli altri studi fatti in zona (GROSSI & CONFORTI "Studio GEO3", 2002), i quali hanno fornito un valore di 224.000 m³, e con la stima del volume di detrito depositato in conoide durante l'evento del 1987, stimato in circa 229.423,937 m³. Si tratta di un dato molto importante per il dimensionamento dei manufatti che dovrebbero contenere almeno una parte del detrito mobilizzato da una colata torrentizia, però è noto che i processi naturali sono molto variabili ed imprevedibili e quindi, anche calcoli molto complessi come quelli strettamente idraulici che però non contemplano il trasporto solido in una miscela fangosa, non consentono di giungere a soluzioni affidabili. In ogni caso, la valutazione del trasporto solido permette di conoscere in modo più approfondito il rapporto tra processi idrologici e processi di trasporto dei sedimenti. Lo studio di Tropeano e Turconi è stato utilizzato rappor-

tandone i bacini analizzati, situati in Piemonte e Valtellina, con i ventisei sottobacini in cui è stato suddiviso il bacino del Madrasco; per il confronto sono stati presi solo i bacini con uguali caratteristiche litologiche e dimensioni simili ai sottobacini oggetto della ricerca. Il calcolo è stato possibile attraverso delle semplici proporzioni matematiche che consideravano le superfici ed il potenziale dei bacini di riferimento, e le superfici dei sottobacini della Valmadre. Sommando i singoli potenziali detritici è stato possibile calcolare il potenziale dell'intero bacino, pari a 233862 m³. I calcoli idrologici hanno permesso di definire il tempo di corrivazione del bacino, pari a 1 ora e 17', la pioggia critica, pari a 42,8 mm/h, e la portata di massima piena con tempo di ritorno di 100 anni, pari a 142 m³/s. Considerate le definizioni dei singoli parametri, in linea teorica la massima piena all'interno del bacino del Madrasco avrebbe origine al verificarsi di una precipitazione piovosa di intensità pari a quella della pioggia critica, e di durata pari al tempo di corrivazione. Rapportando i risultati dei calcoli idrologici al potenziale detritico stimato, è possibile supporre che una piena caratterizzata da una portata pari a 142 m³/s abbia la possibilità di prendere in carico 233862 m³ di detrito, la maggior parte del quale può essere depositato in conoide.

5. LA PREVENZIONE DELLE COLATE NEL BACINO DEL MADRASCO

Nella zona studiata, dopo la colata del 1987, sono stati realizzati interventi di difesa attiva in molte parti del bacino. In particolare, sono state costruite delle briglie filtranti in pietrame (Fig.14), sia lungo il corso d'acqua principale che lungo alcuni canali laterali. Alle briglie, il cui compito è trattenere parte del detrito trasportato da una colata, sono state associate delle soglie per smorzare la velocità dei flussi e permettere il rilascio del materiale detritico evitando che giunga al conoide. Oltre alle briglie e le soglie, che sono delle opere trasversali, sono state realizzate anche delle opere longitudinali come le scogliere, per difendere le sponde del torrente dall'erosione laterale operata dal moto turbolento delle acque. Dai progetti consultati si è appreso che sono in via di realizzazione altre briglie, così come interventi di ingegneria naturalistica per



Figura 14 - Briglia filtrante costruita dopo l'evento del 1987.

limitare l'erosione dei versanti e prevenire l'innescò di fenomeni gravitativi. Dal rilevamento di campagna, però, si è visto che è impossibile tenere sotto controllo un bacino come quello del Madrasco, in quanto si dovrebbero realizzare molti interventi strutturali di questo tipo, con un dispendio di risorse economiche esorbitante e probabilmente anche indisponibile, e con nessuna garanzia sulla loro efficacia. Si tratterebbe di bloccare processi naturali che caratterizzano la normale evoluzione geologica del bacino. Il provvedimento più estremo, che però garantirebbe una condizione di rischio assente per la popolazione di Fusine, sarebbe la delocalizzazione degli immobili a rischio, solo che nel caso in oggetto si dovrebbe spostare un intero paese, il che non può essere fatto per ovvi motivi. Di conseguenza, il rischio che grava su Fusine non può essere annullato ma solo ridotto, per giungere così ad un rischio accettabile. Ciò si può ottenere sia attraverso le opere di difesa attiva, trattate prima, sia, tornando alla difesa passiva, organizzando un efficiente sistema di Protezione Civile.

In tale sistema, le diverse fasi della pianificazione di emergenza dovrebbero essere controllate dal monitoraggio del fenomeno in tempo reale. Per tale scopo è certamente possibile attrezzare un bacino con le dovute strumentazioni (geofoni, pendoli da valanga, cavi elettrificati a strappo, velocimetri, pluviometri, telecamere, ecc...) atte a rilevare l'innescò e l'evoluzione di una colata fangoso-detritica, tarandole in maniera tale da evitare i falsi allarme e distribuendole in maniera idonea. Un elemento da non trascurare è che le colate si sviluppano e si esauriscono in un intervallo di tempo compreso tra una decina di minuti ed un'ora, con velocità che vanno da 1 a 25 m/s (SASSA, 1987). Ciò influenza notevolmente l'allertamento poiché in un bacino piccolo, con tempi di corrivazione molto ristretti, è quasi inutile impostare un monitoraggio, perché da quando la colata comincerebbe a defluire verso valle, e quindi sarebbe rilevata dagli strumenti, rimarrebbe pochissimo tempo per avvertire la popolazione ed evacuarla. Per il bacino del Madrasco, invece, ammesso che la colata si inneschi nella parte medio-alta del bacino e considerando il tempo di corrivazione pari a 77 minuti, ci sarebbe abbastanza tempo per allertare la popolazione e procedere all'evacuazione. I dati rilevati, in continuo, dovrebbero essere inviati ad una stazione predisposta presso il Comune o presso le sale operative della Protezione Civile provinciale o regionale, in modo da attivare in tempo le misure di salvaguardia della popolazione.

L'attuale piano di Protezione Civile del Comune di Fusine, purtroppo, non è basato su quanto appena illustrato, ma semplicemente su una percezione visiva di ciò che accade, con il rischio di incorrere nei problemi suddetti. In pratica, nel centro abitato non si sa cosa succede nel bacino retrostante durante un evento temporalesco, anche in virtù del fatto che non è presente nemmeno un pluviometro in tutta l'area. L'efficienza di un sistema di Protezione civile, però, si basa anche su altri elementi fondamentali da non trascurare assolutamente. Infatti, non bisogna dimenticare che il primo soccorritore di ognuno è se stesso e nella vita quotidiana nessuno è preparato a mettersi al sicuro da una colata di fango e detrito, per cui, anche se tutto il sistema basato sulle conoscenze scientifiche e sul monitoraggio funziona, si deve pensare a come trasferire

queste informazioni alla popolazione immediatamente soggetta al rischio. Per fare ciò esistono le esercitazioni, con le quali viene anche testato il piano al fine di migliorarlo, a cui possono essere associati dei convegni, seminari, incontri, anche nei principali centri di aggregazione come scuole, parrocchie e centri sportivi, in modo che, dal cittadino più piccolo a quello più grande, si sia consapevoli di ciò che può succedere e come reagire eventualmente.

6. CONCLUSIONI

Lo studio del bacino idrografico del torrente Madrasco ha chiaramente dimostrato che si tratta di un bacino interessato da un forte dissesto idrogeologico: numerose sono le frane quiescenti che caratterizzano i fianchi vallivi, alcune delle quali con dimensioni tali da poter provocare il completo sbarramento del fondovalle in caso di riattivazione; un'ingente quantità di detrito instabile è presente nei canali che incidono i versanti, nell'alveo del torrente stesso, ed alle quote elevate un tempo occupate dai ghiacciai; una marcata erosione di sponda è esercitata dalle acque del torrente in alcuni tratti, scalzando al piede le frane quiescenti e con la possibilità di innescare ulteriori movimenti franosi.

Tutti questi dissesti, e non solo, sono stati identificati durante il rilevamento di campagna e l'analisi delle fotografie aeree, da cui è stato possibile anche capire quali potrebbero essere le conseguenze ed i pericoli futuri che essi possono apportare al bacino, in caso di eventi piovosi particolari. Dalla ricerca eseguita presso l'archivio comunale di Fusine, volta al reperimento delle notizie storiche sugli eventi pregressi, è emerso che il fenomeno naturale più distruttivo e catastrofico per il paese è stato da sempre quello delle colate fangoso-detritiche. È un fenomeno che si origina nel bacino per poi defluire verso valle ed invadere il conoide dove sorge il centro abitato.

Dopo l'evento del 18 luglio 1987 sono stati realizzati diversi interventi di difesa attiva, sia nel bacino che in conoide, per mettere in sicurezza l'agglomerato urbano; si tratta di briglie, soglie di fondo, scogliere ed opere di drenaggio lungo i versanti. Sono opere importanti ed onerose che certamente possono limitare la potenza distruttiva di una colata, ma non possono sicuramente evitarne l'innescò o bloccarla prima del suo arrivo in conoide, luogo della sua espansione naturale. Probabilmente, tale obiettivo non verrebbe raggiunto neanche con la realizzazione di altri interventi del genere o potenziando quelli esistenti. Ciò implica che l'abitato di Fusine sia tuttora a rischio. In conoide, il torrente è stato canalizzato con scogliere che impediscono alle acque di piena o ad un'eventuale colata di espandersi lateralmente in maniera naturale, in un alveo la cui pendenza diminuisce drasticamente procedendo verso la confluenza col fiume Adda, così come la distanza tra gli argini. Elementi che già nel 1987 ne hanno provocato l'intasamento che ha favorito il disalveamento della colata nel centro abitato. Il materiale detritico è stato particolarmente rilevante ed il ponte, attualmente collegante i Comuni di Fusine e Colorina, e localizzato poco più a valle dell'apice del conoide, ha giocato un ruolo determinante nell'esondazione.

Ad aumentare la suscettibilità nei confronti delle colate c'è anche il fatto che la testata del bacino del Madrasco si trova nella zona più piovosa dell'intera Lombardia, cioè lo spartiacque Orobico, dove, in territorio di Fusine, non è presente alcun pluviometro, nonostante sia nota l'elevata variabilità spaziale delle precipitazioni in ambiente alpino. Visto che il rischio non si può annullare, né con interventi di difesa attiva né ricollocando l'abitato in una zona più sicura, il provvedimento migliore consisterebbe nell'impostare un valido ed efficiente sistema di Protezione Civile basato sulle conoscenze scientifiche (Fig. 15), con il quale, però, sarebbe possibile soltanto una riduzione o mitigazione del rischio presente.

L'attuale piano di Protezione Civile comunale e quello intercomunale, redatto dalla Comunità Montana Valtellina di Sondrio, che ratificano la pianificazione di emergenza per Fusine, non si basano su un sistema di monitoraggio ed allarme, il che li rende alquanto vulnerabili, sia per il rischio di attivare le procedure in ritardo rispetto al verificarsi del fenomeno, sia per il rischio di lanciare falsi allarmi. In ogni caso, il monitoraggio di un bacino mirato ad individuare l'innescò e seguire lo sviluppo di una colata detritica torrentizia è possibile. In effetti, si tratta di sfruttare l'attuale tecnologia che certamente era ignota nel 1911 e nel 1987 ma che oggi, se ben sfruttata, scegliendo gli strumenti giusti e posizionandoli in maniera corretta, riesce a rendere un piano di Protezione Civile più affidabile e salvare la vita di molte persone che abitano in zone insicure. Inoltre, per rendere un piano di emergenza efficiente, non basta solamente fondarlo sulle conoscenze scientifiche e sul monitoraggio del fenomeno in tempo reale, ma c'è bisogno anche di infondere nei cittadini esposti al rischio una cultura di auto sicurezza e di Protezione Civile. Ciò si può fare con l'ausilio di esercitazioni periodiche, attraverso le quali si testi il meccanismo del piano e si istruiscano le popolazioni sui rischi a cui sono soggette e su come comportarsi in caso di necessità. Ad esse si dovrebbe associare un'adeguata comunicazione, di tipo interattivo, facendo diventare i cittadini stessi i primi attori di un piano, ed i primi conoscitori di un fenomeno naturale che costituisce una fonte di pericolo per la propria vita.

La maggior parte delle vittime che ogni anno, in Italia, vengono provocate dai fenomeni naturali sono causate dalla scarsa prevenzione e dalla mancanza di rispetto dell'uomo nei confronti della natura, la quale prima o poi si riprende i suoi spazi, mentre sono poche le vittime causate dalla fatalità.

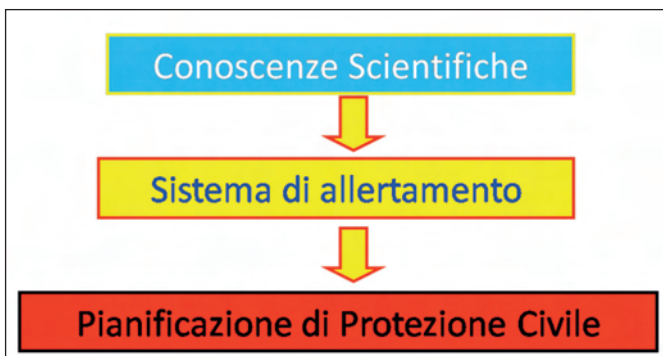


Figura 15 - Lo schema di un'efficiente pianificazione di emergenza.



Figura 16 - Soil slip in Loc. Selvetta del Comune di Colorina (SO). Si nota bene come la frana abbia investito in pieno l'abitazione, abbattendone una parte (foto realizzata in data 23/07/2008).

Nel periodo trascorso a Fusine, si è dato spazio anche ad alcuni sopralluoghi in altri comuni della media Valtellina e si è constatato, a malincuore, che situazioni anche più gravi di quella appena descritta si ritrovano in molti di essi. A confermarlo è stato anche l'intenso evento pluviometrico avvenuto in Valtellina nel luglio 2008, che ha provocato danni nei comuni di Colorina (fraz. Selvetta), Berbenno e Talamona (Fig.16).

7. CONSIDERAZIONI

Si precisa che, secondo la Legge n. 225/1992, studi come quello appena esposto rientrano nella fase di previsione dei rischi. Attualmente, però, a causa di una probabile mancanza di volontà politica, in Italia c'è una concreta difficoltà nel trasferire studi del genere alla successiva fase di prevenzione, in cui dovrebbero essere considerati per realizzare la messa in sicurezza dei territori definiti a rischio. La conseguenza immediata di questo problema è che continuano a morire persone innocenti, come nelle ultime catastrofi idrogeologiche di Messina ed Ischia (NA).

8. BIBLIOGRAFIA

Per la bibliografia si rimanda alla tesi "Studio geomorfologico del bacino del torrente Madrasco (VALTELLINA) ed analisi del rischio da colata fangoso-detritica per l'abitato di Fusine (SO)" (Esposito, 2009).