

Modelli digitali delle grandi frane alpine tra Italia e Svizzera. Conoscere il passato per comprendere il futuro.

Cristiana Achille^{1a}, Christian Ambrosi³, Tiziana Apuani², Daniele Fabrizio Bignami⁶,
Massimiliano Cannata³, Sergio Castelletti⁷, Massimo Ceriani⁵, Francesco Fassi^{1a},
Paolo Frattini⁴, Gianni Lisignoli⁷, Maurizio Lualdi^{1b}, Federica Marotta^{1a}, Luca
Perfetti^{1a}, Enrico Pigazzi², Cristian Scapozza³, Alessio Spataro³

^{1a} Politecnico di Milano: 3DSurvey ABCLab DABC, Via Ponzio 31 Milano; ^{1b} DICA Piazza L. Da Vinci 32 Milano

² Università degli Studi di Milano Dip. Scienze della Terra A. Desio, Via Mangiagalli 34, Milano

³ SUPSI, Istituto scienze della Terra, Dip. Ambiente costruzione e design, Campus Mendrisio
Via Flora Ruchat-Roncati 15 CH 6850 Mendrisio

⁴ Università degli Studi di Milano-Bicocca Department of Earth and Environmental Sciences
Piazza della Scienza 4, 20126, Milano

⁵ Regione Lombardia U.O. Difesa del Suolo e gestione attività commissariali
Direzione Generale Territorio e Protezione Civile

⁶ Innovation Projects Unit, Fondazione Politecnico di Milano, P.zza L. da Vinci, 32, Milano

⁷ Associazione Italo-Svizzera per gli scavi di Piuro, 1988

Abstract. La ricerca in corso, sostenuta dal Progetto Interreg Italia-Svizzera A.M.AL.PI.18, riguarda l'elaborazione e gestione dei dati provenienti da attività di indagine finalizzate a produrre ipotesi e modelli utili alla ricostruzione delle cause, modalità e degli effetti di eventi franosi.

Parole chiave: geoscienze, monitoraggio, prevenzione

1 Il territorio alpino fra Italia e Svizzera

1.1 Il Progetto Interreg A.M.AL.PI.18

L'attività di ricerca in corso riguarda l'elaborazione e la gestione di dati provenienti dalle attività di indagine multidisciplinare condotte in passato e in corso, al fine di produrre ipotesi e modelli utili alla ricostruzione delle cause, modalità ed effetti di eventi franosi, storici o recenti, dislocati nelle Alpi Centrali italo-svizzere. L'attività è parte integrante del Progetto Interreg Italia-Svizzera A.M.AL.PI.18¹ [1], che mira a

¹ Operazione Co-finanziata dall'Unione Europea, Fondo Europeo di Sviluppo Regionale, dallo Stato Italiano, dalla Confederazione elvetica e dai Cantoni nell'ambito del Programma di Cooperazione Interreg V-A Italia-Svizzera, A.M.AL.PI.18 "Alpi in Movimento, Movimento nelle Alpi. Piuro 1618-2018" ID 594274 - Asse 2 "Valorizzazione del patrimonio naturale e culturale" del Programma di Cooperazione IT-CH 2014-2020

promuovere una innovativa strategia di fruizione delle risorse naturali e culturali dall'area alpina della Bregaglia-Valchiavenna-Moesa-Ticino. Muovendosi in un contesto storico-paesaggistico comune, il progetto si propone di realizzare un percorso geoculturale transfrontaliero di carattere scientifico-divulgativo.

Il percorso individuato dal progetto A.M.AL.PI.18 è in fase di realizzazione e verrà attrezzato con specifiche installazioni e segnaletica dedicata, collegando fra loro diversi punti di interesse: Pizzo Cengalo, Piuro, Val Genasca, Cimaganda, Monte Mater, Ganda Nera, Norantola, Cauco, Biborgh, Monte Crenone, Ludiano, Loderio, Valegion, Chironico, Sasso Rosso e Peccia, accumulati dall'essere stati teatro di importanti modifiche del territorio per l'accadimento di frane di grande impatto sociale o per la manifesta attività gravitativa di versanti. Il percorso si rivolge ad un turismo di tipo scientifico-culturale e didattico, fornendo una guida all'osservazione di tutte le componenti del paesaggio (geologiche, naturalistiche e antropiche) che ne controllano l'evoluzione, offrendo la possibilità di scoprire gli strumenti per identificare i processi passati e in atto, e nel contempo sviluppare consapevolezza dell'importanza della conoscenza per la prevenzione delle calamità. Il percorso offre inoltre uno sguardo attento alla scoperta dell'unicità del patrimonio storico-culturale-paesaggistico di tutto il territorio coinvolto.



Fig. 1. Il percorso del progetto A.M.AL.PI.18, dal passo del San Gottardo al Passo del Maloja.

2 Modelli digitali per lo studio del territorio

2.1 DTM multiscala da rilievo multisensore

Lo studio degli effetti innescati dagli eventi franosi non può prescindere da una attenta e dettagliata indagine e analisi fondata sui dati rilevati/acquisiti sul territorio. Alcune frane lungo il percorso sono già ben documentate e per queste le azioni intraprese sono state volte alla riorganizzazione della documentazione esistente per la loro fruizione, altre hanno richiesto nuove indagini conoscitive.

Nel caso di eventi franosi storici alle consuete attività tecniche di indagine si affianca quella di analisi dei documenti e delle informazioni che descrivono l'area oggetto di indagine prima della catastrofe e nel periodo immediatamente successivo. L'area

oggetto di indagini dettagliate in territorio italiano è quella del Comune di Piuro (SO), caratterizzata da una complessa evoluzione geologico-geomorfologica, dominata dalle dinamiche di versante, in particolare dalla storica frana, e dai processi fluviali di fondovalle. La frana di Piuro del 1618 è nota come una delle frane storiche più catastrofiche delle Alpi Centrali, causò la distruzione dell'antico borgo e almeno 1000 vittime [2]. La comprensione delle dinamiche che hanno portato all'evento e la ricostruzione degli effetti sull'antico borgo, richiede l'accurata ricostruzione dei caratteri attuali del territorio e di quelli precedenti l'evento, con un approccio multidisciplinare.

Il primo step di indagine ha riguardato la produzione di modelli digitali (DTM e DSM) dell'area di interesse, modelli multiscala ottenuti integrando i dati di rilievo provenienti da sensori differenti. Il territorio è caratterizzato dalla presenza di vegetazione molto densa, per ottenere modelli DTM soddisfacenti alle necessità è stato necessario integrare dati provenienti da tre diverse sorgenti, laser scanner long range (Riegl Vz-4000), scanner statico medium-range (RTC360 Leica/HDS7000) e rilievo Mobile Mapping System (MMS) con strumentazione Laser Scanner Backpack MMS Heron MS Twin Color Gexcel S.r.l. [3] e con sistema sperimentale fotogrammetrico ANT 3D²[4]. Le nuvole di punti sono state georeferenziate per mezzo di punti RTK GNSS e filtrate utilizzando un algoritmo Cloth Simulation Filter per riconoscere i punti appartenenti al suolo. Questi punti sono stati interpolati per produrre i diversi DTM, poi mosaicati per ottenere un DTM multi-risoluzione unico a supporto delle attività di rilevamento e di analisi delle forme del paesaggio [5]. L'area interessata dal rilievo è di circa 6.8 Km². L'output è un modello di tutta l'area con risoluzione pari a 50 cm pixel, la risoluzione è superiore nelle parti di territorio interessate dalla presenza di aree archeologiche, questo al fine di georeferenziare correttamente le evidenze emerse e quindi migliorare il livello di ricostruzione/interpretazione sia delle indagini archeologiche sia di quelle geologiche.



Fig. 2. Alcuni momenti di attività di rilievo sul campo. Con scanner long range (Riegl Vz-4000) 7 scansioni per coprire l'intera area; due diversi sistemi di mobile mapping: Laser Scanner Backpack MMS Heron MS Twin Color Gexcel S.r.l. e Sistema fotogrammetrico sperimentale ANT3D, rilievo dei sentieri e dei percorsi verso la nicchia di distacco di frana; rilievo laser scanner medium-range presso gli scavi archeologici di Belfort (Leica RTC360); rilievo scanner sotto l'argine del fiume Mera e il retrostante cumulo di materiali residuali della frana del 1618 (Leica HDS7000).

² Brevetto n° 102021000000812 - ANT3D System, progettisti Ing. F. Fassi, Arch. PhD Luca Perfetti

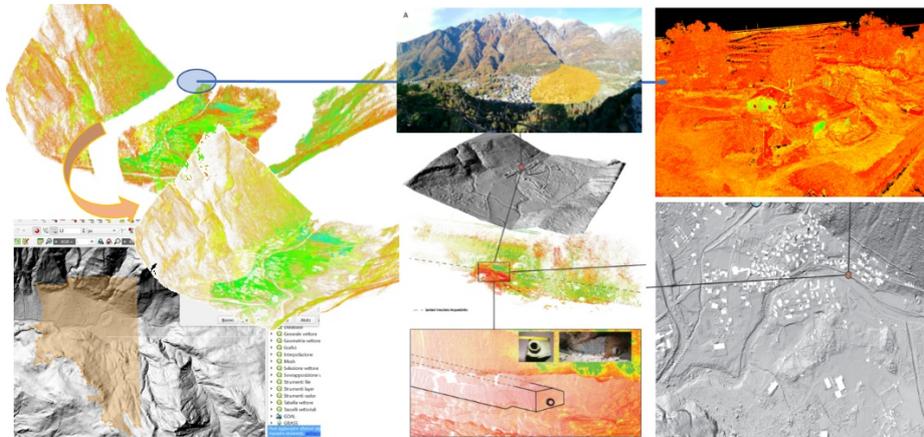


Fig. 3. Elaborazione dei dati, produzione di modelli DTM e DSM multiscala

2.1 Rilevamento geologico e indagini geognostiche

Il rilevamento geologico-geomorfologico e le indagini geognostiche di superficie e di sottosuolo si integrano al fine di riconoscere le dinamiche dell'evento franoso e le sue relazioni con gli altri processi geologici di rimodellamento del paesaggio (sedimentazione o erosione) che nei tempi si sono combinati a configurare l'attuale conformazione della superficie e del sottosuolo.

Le osservazioni dirette delle forme del paesaggio, della natura dei depositi e degli ammassi rocciosi vengono riassunte nelle carte geologiche, geomorfologiche e litostratigrafiche prodotte a scala 1:10.000.

Due sondaggi geognostici verticali supportano l'interpretazione stratigrafica del fondovalle, con l'ausilio di tecniche di datazioni su campioni di materiale organico e prove geofisiche in foro [6].

L'interpretazione dei dati geofisici al fine della identificazione delle unità geologico-stratigrafiche del sottosuolo ed in particolare dell'accumulo di frana risente delle difficoltà intrinseche legate alla morfologia della valle stessa ed alla natura pressoché omogenea dei materiali che costituiscono il riempimento vallivo. Le prove geofisiche condotte nella Piana di Piuro (HVSR, MASW, Sismica a rifrazione) hanno invece permesso di stimare la profondità del basamento roccioso.

Ulteriori informazioni a supporto dell'interpretazione geologica si ottengono: dagli elementi antropici datati presenti sul territorio (edifici e infrastrutture) che, in relazione al loro coinvolgimento con i processi naturali, permettono di vincolare temporalmente i corpi geologici; dall'analisi della documentazione storica ed iconografica che fornisce informazioni sull'aspetto del paesaggio antico; dagli scavi archeologici, che offrono osservazioni dirette della topografia pre-frana e degli spessori dei depositi. La combinazione di tutte le informazioni acquisite ha consentito quindi di definire le relazioni geometriche e temporali tra corpi geologici (ammassi rocciosi, unità sedimentarie distinte su basi genetiche) e le forme del paesaggio permettendo di dedurre la topografia precedente la frana e quella appena successiva, elaborate e rappresentate attraverso modelli digitali del terreno (DTM).

La ricostruzione dell'evento franoso, sia in termini di innesco (cause) sia di propagazione della massa (trasporto e deposizione) e degli impatti nel fondovalle, si avvale anche degli strumenti di modellazione numerica. La definizione dei DTM rappresenta uno strumento chiave per lo sviluppo dei modelli di simulazione dei processi che rappresentano un efficace mezzo di rappresentazione e comunicazione verso i fruitori del percorso A.M.AL.PI.18 e delle postazioni di narrazione.

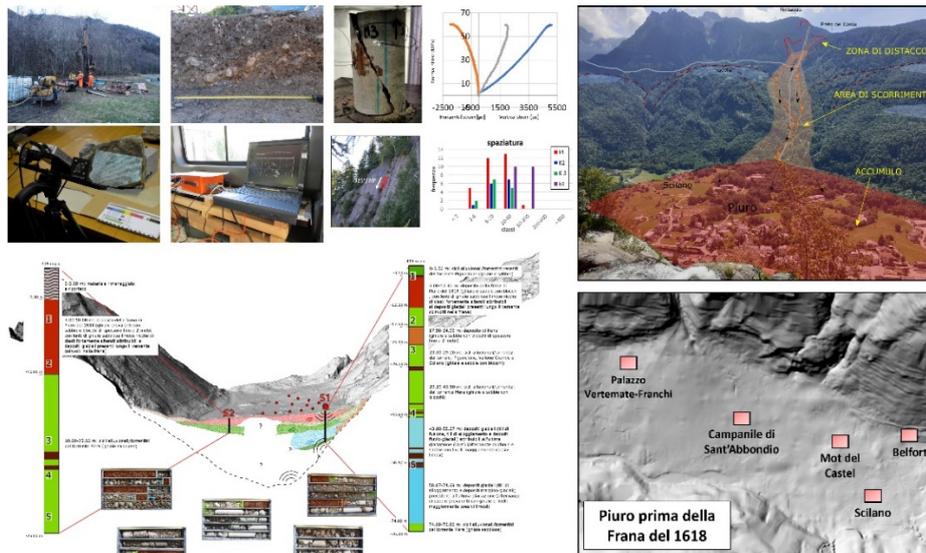


Fig. 4. Fasi dello studio geologico dell'area di Piuro, dalle prove geognostiche, geofisiche e di laboratorio fino allo sviluppo di un modello geologico e la ricostruzione della topografia di Piuro precedente la frana del 1618.

3 Prevenzione e formazione

3.1 Summer school A.M.AL.PI.18 2021

Sono diverse le fasce di utenza alle quali il Progetto si rivolge, tra queste non possono mancare studiosi e ricercatori, enti di formazione, istituzioni scolastiche sia appartenenti alle aree di Progetto sia provenienti da altre regioni o nazionalità.

Con l'intento di promuovere il percorso transfrontaliero e la formazione nel campo delle geoscienze, è stata organizzata la prima summer school A.M.AL.PI.18 [7], svoltasi nel 2021, nel mese di settembre. La stesura di un programma condiviso Italia-Svizzera e la preparazione delle attività sul campo e in aula ha contribuito a rafforzare la collaborazione transfrontaliera, dovendo il team condividere contenuti, modalità operative, campagne di rilievo e risultati attesi.

Questa prima edizione del Corso è stata condotta nei territori dei Comuni di Airola per parte Svizzera, e di Chiavenna per parte italiana. L'intento della summer school era quello di fornire gli strumenti conoscitivi e pratici per l'acquisizione e l'elaborazione di dati a supporto delle analisi e dell'interpretazione di modelli per lo studio e la

risoluzione di problemi geologico-tecnici, in particolare quelli legati alla stabilità dei versanti e alla caduta massi.



Fig. 5. Alcuni momenti delle attività svolte durante la summer school; lezioni frontali, rilievi e indagini sul campo.

I partecipanti si sono confrontati con problemi teorico-pratici attraverso la simulazione e risoluzione di casi reali. Si è cercato di proporre un giusto mix tra attività di indagine e rilievo sul campo e attività di discussione-elaborazione dei dati.

In Svizzera i partecipanti si sono misurati con le problematiche legate all'acquisizione di dati con strumentazione laser scanner long range e con l'osservazione e la documentazione delle caratteristiche del territorio imparando ad usare e leggere diverse cartografie, nell'ambito del territorio di Airolo.

I partecipanti hanno poi potuto seguire le fasi di elaborazione dei dati long-range, al fine di restituire modelli digitali e scenari evolutivi a supporto delle attività di monitoraggio del territorio (data cleaning, georeferenziazione, algoritmi di filtraggio, creazione di DSM e DTM).

A Villa di Chiavenna, in Italia, i partecipanti hanno raccolto i dati topografici sul campo con tecnologie Mobile Mapping System Laser Scanner e GNSS, insieme ai dati e alle osservazioni del rilievo geomeccanico tradizionale lungo un tratto di ciclabile in

galleria. Anche in questo caso la prima parte delle attività ha riguardato l'acquisizione ed elaborazione di dati laser scanner e topografici per la produzione di modelli tridimensionali delle gallerie allo scopo di supportare il rilievo geomeccanico tradizionale di contatto. I modelli elaborati, uniti alle osservazioni di campo, sono stati la base per le successive fasi di indagine, riconoscimento ed estrazione di discontinuità e analisi giacitura.

Il Corso ha visto il riconoscimento dei crediti formativi da parte dell'ordine dei Geologi di Lombardia.

4 Conclusioni

L'ambiente alpino sta cambiando, soggetto come il resto del territorio ai cambiamenti climatici e ad una maggiore pressione antropica.

I rischi non sono soltanto legati al possibile aumento della numerosità dei fenomeni, ma al fatto che oggi aree prima disabitate o naturali sono comunque interessate da crescente attività antropica (strade, case, rifugi, piste da sci, infrastrutture ecc.).

Oggi disponiamo di strumenti di prevenzione, monitoraggio e protezione, strumenti ai quali si aggiunge lo studio sempre più attendibile delle frane del passato.

La moderna tecnologia è efficace anche dal punto di vista della 'rapidità' di esecuzione/elaborazione e questo consente la redazione e l'aggiornamento continuo delle carte del rischio e la conseguente progettazione degli interventi di difesa (ne è un esempio la frana del Gallivaggio del 28 maggio 2018 in Comune di San Giacomo Filippo (SO), che grazie al sistema di monitoraggio ha consentito l'evacuazione dell'area e la chiusura preventiva della strada statale, evitando gravi conseguenze per le persone).

Il territorio di Piuro rappresenta certamente un 'unicum' in territorio italiano, ma può trovare un gemello svizzero nella frana del Monte Crenone (Buzza di Biasca [8]), due regioni completamente sconvolte da eventi catastrofici.

Mettere 'in rete' la storia, le leggende, le metodologie e le prassi permette di progettare interventi sul territorio più efficaci e condivisi. Il lavoro sinergico fin qui svolto e ancora in corso ha prodotto efficaci rappresentazioni della situazione attuale e significative interpretazioni del passato che possono contribuire a prevenire future catastrofi naturali.

Il progetto A.M.AL.PI.18, partendo dall'idea di trasformare la problematica delle frane alpine del territorio Ticino-Moesa-Valchiavenna-Bregaglia in risorsa sulla quale generare maggiore attrattività dell'area transfrontaliera, si prefigge di realizzare l'integrazione delle conoscenze tecnico-scientifiche sulla vulnerabilità dei versanti italiano e svizzero e di promuovere una strategia di divulgazione degli esiti delle indagini attraverso la realizzazione di un percorso geoculturale didattico-scientifico.

Da qui la volontà di produrre esiti non solo per studiosi, ma elaborare strategie di mediazione scientifica e divulgazione finalizzate a creare interesse e a sensibilizzare la popolazione (una guida cartacea, un sito internet, pannellistica ad hoc, ...).

Le frane sono raccontate non più solo come 'elementi di pericolo' ma come elementi persistenti e caratteristici di un territorio e che solo in determinati momenti e condizioni possono rappresentare un rischio. Il Progetto punta così ad aumentare la sensibilità verso il tema delle calamità naturali sfruttando il nuovo percorso geo-culturale transfrontaliero e offerte didattiche mirate.

Gli esiti del progetto troveranno una collocazione stabile all'interno del costruendo Centro Grandi Frane Alpine, ospitato presso la ex Chiesa dei Cappuccini a Chiavenna.

La disponibilità di uno spazio fisico dove ospitare esposizioni permanenti e temporanee e momenti di visita, incontro e formazione legati alle tematiche di progetto permetterà di mantenere vivo e rafforzare l'interesse verso tutto il vasto ambito delle geoscienze e garantire la continuità delle azioni intraprese sul territorio, anche dopo la scadenza naturale del progetto.

Riferimenti bibliografici

1. www.progetti.interreg-italiasvizzera.eu/it/b/78/alpiinmovimentomovimentonellealpi, ultimo accesso 2022/03/25.
2. Scaramellini, G., Kahl, G., Falappi, G.P., La frana di Piuro del 1618. Storia e immagini di una rovina. Associazione Italo-Svizzera per gli scavi di Piuro, 1988. Grafica Mevio 1995
3. Gexcel official web page [WWW Document], 2022. URL <https://gexcel.it/it/> (accessed 1.21.22).
4. Marotta, F., Perfetti, L., Fassi, F., Achille, C., Vassena, G., P., M., LIDAR iMMS vs handheld multicamera system: a stress-test in a mountain trailpath. in: Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci, XXIV ISPRS congress Nice June 6-11 (2022)
5. Marotta, F., Teruggi, S., Achille, C., Vassena, G.P.M., Fassi, F., Integrated Laser Scanner Techniques to Produce High-Resolution DTM of Vegetated Territory, REMOTE SENSING (ISSN: 2072-4292) DOI <http://dx.doi.org/10.3390/rs13132504> (2021)
6. Pigazzi, E., Bersezio, R., Morcioni, A., Tantardini, D., & Apuani, T. (2022). Geology of the area of the Piuro 1618 event (Val Bregaglia, Italian Central Alps): the setting of a catastrophic historical landslide. *Journal of Maps*, 1-10.
7. <https://www.fondazionepolitecnico.it/eventi/amalpi-week-2021>, ultimo accesso 2022/03/25
8. Scapozza, C., Tognacca, C., Ambrosi, C., Seno, S., 20 maggio 1515: la "Buzza" che impressionò l'Europa, Bollettino della Società ticinese di scienze naturali - 103, 2015, pp. 79-88 (ISSN 0379-1254),