

Dal monitoraggio alla gestione adattativa del patrimonio sistematorio trentino

Gabriele Bertoldi (*), Gianluca Degasperì (**), Ruggiero Valentinotti (**)

(*) Libero professionista, tel, fax, e-mail

(**) Servizio Bacini montani, Provincia Autonoma di Trento
tel 0461 495830, fax, e-mail ruggiero.valentinotti@provincia.tn.it

Riassunto

Le innovazioni legislative e le contingenze finanziarie impongono un cambio di paradigma nella protezione dal rischio idrogeologico nei bacini montani. Il Servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento per affrontare tale cambiamento ha progettato e sta implementando un sistema gestionale ed informatico denominato Sistema Informatico dei Bacini Montani. Il SIBAM si configura come un sistema adattativo che sposta risorse ed attenzione dalla realizzazione di interventi strutturali alla pianificazione, alla manutenzione ed al monitoraggio del territorio, anche usando tecnologie innovative come la fotogrammetria del vicino.

Abstract

Legislative innovations and financial contingencies require a paradigm shift in the hydrogeological hazard protection in mountain basins. Mountain xxx Services of the Autonomous Province of Trento to address this change has designed and is implementing a management and informatics system called Information System of Mountain Basins. The SIBAM is configured as a gaming adaptive, shifting resources and attention from the structural management component to monitoring and landscape action planning, also using innovative technologies such as close range photogrammetry.

Introduzione

Nelle aree alpine l'aumento della popolazione e delle capacità tecniche ha portato a partire da metà del XIX secolo ad un approccio strutturale ed integrato al rischio idrogeologico. Nel territorio dell'attuale Provincia di Trento tale approccio è diventato sistematico e diffuso a seguito dell'alluvione del 1982, concretizzandosi fino ad oltre metà del XX secolo nella costruzione di briglie di consolidamento, rimboschimenti e stabilizzazione di versanti, in un approccio di fatto integrato a scala di bacino. A seguito dell'alluvione del 1966 e dei lavori della commissione de Marchi l'approccio sostanzialmente non cambia ma migliorano le tecniche costruttive e vengono introdotte le briglie aperte. A partire dagli anni '90 una nuova coscienza ambientale e una progressiva contrazione di risorse a partire dai primi anni 2000 hanno favorito una forte evoluzione dell'approccio sistematorio, passando dal concetto di "acqua chiara", di completa immobilizzazione del sedimento e di opere strutturali alla comprensione di un sistema a "nastro trasportatore", in cui la connettività di sedimento diventa un fattore di diminuzione di magnitudo potenziale di evento e la zonizzazione del pericolo e la pianificazione urbanistica dovrebbero prevalere sulle misure strutturali, secondo il concetto "space to the river" (Puglisi, 2009, D'Agostino, 2010).

Tuttavia due secoli di mitigazione del pericolo attraverso interventi strutturali ha lasciato un'importante eredità in termini di sistemazioni idraulico e forestali. Nell'ultimo inventario del Servizio Bacini Montani (SBM) della Provincia Autonoma di Trento, sui 4053 km di reticolo gestito dal servizio si contano un totale di 17529 briglie di cui 304 filtranti, 335.5 km di cunettoni, 464 km di opere spondali, 87 km di argini in rilevato, 460 piazze e vasche di deposito (Fig. 1).

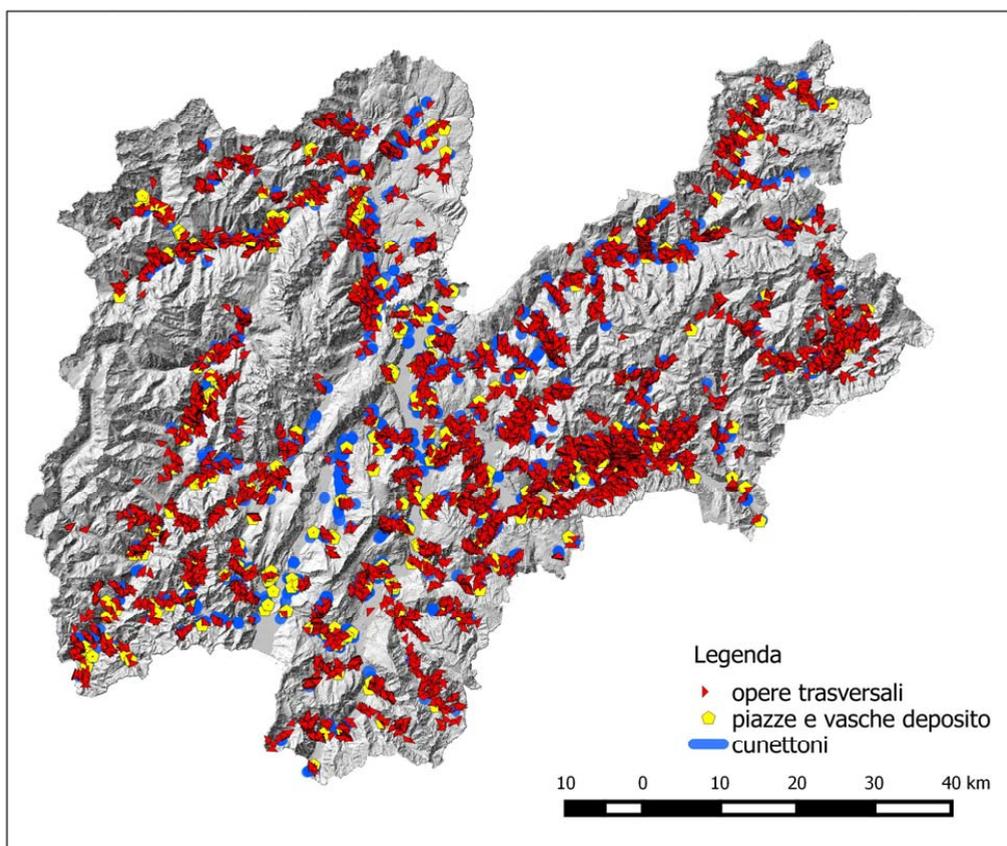


Figura 1 - Distribuzione e tipologia delle opere di sistemazione idraulico e forestali in Provincia Autonoma di Trento.

Le basi legali per la gestione della pericolosità idrogeologica e del patrimonio sistematorio in Provincia di Trento discendono dal diritto comunitario, in particolare dalla direttiva Acque (2000/60/CE), recepita ed integrata nel Testo Unico Ambientale (D.lgs. 152/2006) e dalla direttiva Alluvioni (2007/60/CE), recepita con il D.lgs. 49 del 2010. Tale legislazione recepisce e promuove l'evoluzione dell'approccio sistematorio verso la gestione delle portate in modo non strutturale ed in termini preventivi, unendo le valutazioni di riduzione della pericolosità a quelle di tutela ambientale e paesaggistica. Anche nell'ordinamento giuridico il focus si sposta quindi dalla realizzazione di nuove opere strutturali al monitoraggio degli eventi, del reticolo e delle strutture esistenti, fino alla valutazione della pericolosità nella pianificazione urbanistica ad ogni livello. In Trentino la responsabilità sistematoria dell'amministrazione inizia subito dopo l'alluvione del 1882, e va consolidandosi nei decenni e tra le due guerre fino ad arrivare nel 1972 alla costituzione dell'Azienda Speciale di Sistemazione Montana, che con la L.P. 18/1976 acquisisce i compiti di esecuzione e di manutenzione delle opere di sistemazione. L'azienda è diventata Servizio Sistemazione Montana nel 2002 e Servizio Bacini Montani (SBM) nel 2006, allargando le competenze a tutti i corsi d'acqua della Provincia. Tali modificazioni hanno seguito l'evolversi delle esigenze sistematorie, andando poi con la L.P. 11/2007 a fissare i nuovi paradigmi e tradurli in compiti istituzionali. Il monitoraggio permanente dei bacini idrografici e delle opere di sistemazione idraulico e forestali (SIeF) diventa lo strumento principale con cui perseguire la stabilità del territorio, unita alle attività di manutenzione del patrimonio sistematorio e ad un approccio multifunzionale nelle valutazioni sulla realizzazione di nuove opere, favorendo il recupero

naturalistico, favorendo l'approccio non strutturale. In questo quadro la L.P. 11/2007 considera la gestione delle informazioni in un sistema informativo territoriale è considerato uno strumento di base per la protezione del territorio.

Lo stato di fatto del patrimonio sistematorio viene concepito come una componente del reticolo idrologico dotata di una tripla natura: i - una natura sistematoria atta a ridurre il livello di pericolosità, in particolare nel breve-medio periodo, ii - una natura di opera strutturale caratterizzata da esigenze di manutenzione, iii - una natura di amplificazione della pericolosità, dovuta all'aumento di magnitudo potenziale dovuta all'arresto della connettività di sedimento ed al conseguente accumulo dello stesso (Mazzorana et al., 2012, Tacnet et al., 2012).

In questo contesto la gestione della pericolosità idrogeologica del territorio montano non può evitare di svilupparsi secondo attività che comprendano un ciclo adattativo in cui il monitoraggio dei bacini idrografici si innesca in un sistema di accatastamento, monitoraggio e manutenzione delle sistemazioni idrauliche e forestali ed in cui tutte le informazioni sono archiviate e raccordate in un sistema informativo.

Il Sistema Informativo Bacini Montani, SiBaM

Gli obblighi gestionali definiti dalla L.P. 11/2007 creano un quadro in cui il SBM deve conoscere ed organizzare lo stato reale delle opere Sief e delle interferenze sul reticolo, deve organizzare e tenere traccia dell'attività di monitoraggio, così come dell'attività di manutenzione e di gestione delle opere e del reticolo, integrando a questo anche il rilievo e l'archiviazione degli eventi alluvionali, il tutto in un contesto di riduzione delle risorse e di strategia mitigatoria il più possibile non strutturale. Gli obiettivi del SiBaM diventano quindi i - il gestire il ciclo di vita di ogni singola opera, ii - garantire al tempo stesso una riduzione della complessità dei dati gestiti rispetto al catasto attuale, iii - ottimizzare l'attività di rilievo di campo, iv - assicurare il monitoraggio e l'archiviazione degli eventi alluvionali intensi, v - strutturare le azioni gestionali dell'ente secondo piani di monitoraggio, manutenzione e degli interventi dinamici ed adattabili.

Tali obiettivi sono perseguiti organizzando un sistema adattativo ed interconnesso (Fig. 2). Nel disegno del SiBaM le Sief e le interferenze (insieme denominate catasto opere idrauliche e forestale e interferenze, COInt) sono raggruppate secondo insiemi funzionali alla mitigazione del pericolo ed al monitoraggi denominati "sistemi di opere". Il monitoraggio ordinario si basa sul livello dei sistemi, andando ad approfondire a livello di interferenze e di Sief solo nel caso di anomalie. La calendarizzazione dei monitoraggi secondo la tipologia dei sistemi dà luogo ad un piano dei monitoraggi. Il monitoraggio in attivazione si riguarda le osservazioni relative agli eventi alluvionali, ma può influenzare il monitoraggio ordinario. Sulla base dei riscontri dei monitoraggi vengono segnalate delle attività di sistemazione, la cui priorità e tipologia da luogo ad un piano delle manutenzioni e ad un piano degli interventi. La calibrazione di questi due piani con le risorse a disposizione del SBM e con l'esigenza di realizzazione di nuove opere da luogo alla progettazione ed esecuzione della manutenzione e degli interventi stessi.

I sistemi di opere ed il COInt

In ambito montano le singole opere di mitigazione sono spesso di grandezza limitata e la loro efficacia si manifesta nell'azione sinergica con tutta la sistemazione del bacino. Ai fini della gestione del patrimonio sistematorio risulta utile considerare dei sistemi di opere come oggetto del presidio territoriale e di attribuire a questo livello un giudizio di efficienza funzionale. Le opere sono quindi raggruppati sia per giudizio esperto sia tramite una chiave dicotomica in sistemi funzionali, laddove attorno ad un opera cardine sia presente un apparato sistematorio funzionale a ottimizzarne l'efficacia (p.e. sistema a briglia filtrante, sistema ad argine fluviale, sistema di attraversamento, ecc.), e in sistemi zionali, laddove la pressione sistematoria è assente o blanda, differenziando tra sistemi di reticolo di monte e di conoide. A seconda della tipologia di sistema è assegnata una probabilità di danneggiamento ed una frequenza base di monitoraggio coerente con la cadenza del piano triennale degli interventi previsto dalla Legge Provinciale 7/2011.

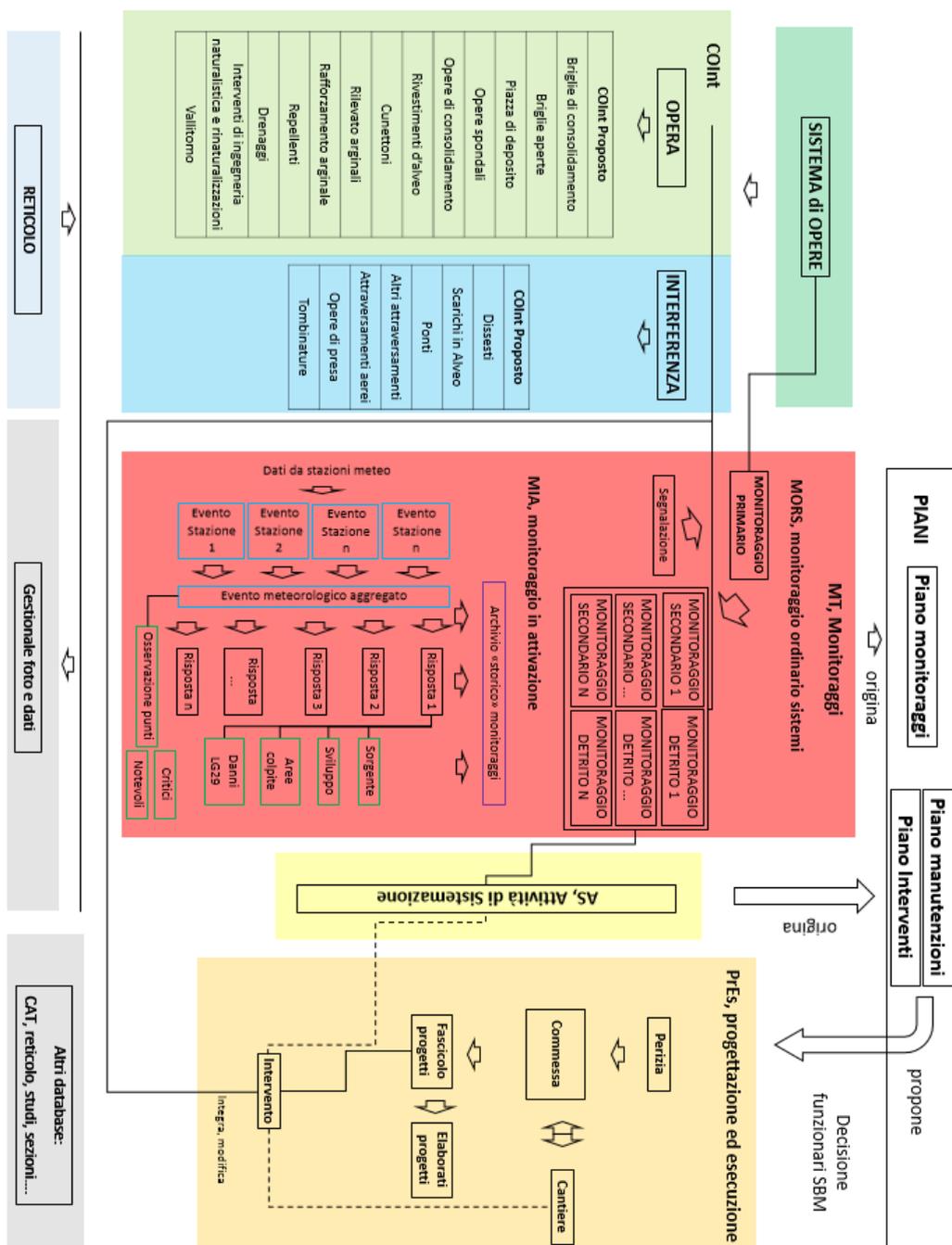


Figura 2 - Schema del SiBaM: in verde e azzurro i sistemi di opere ed il COInt, in rosso il monitoraggio, il giallo le attività di sistemazione, in giallo scuro la progettazione ed esecuzione. In basso in grigio i database collaterali e funzionali al SiBaM, in sfondo bianco i piani originati dal SiBaM.

Le cadenze di monitoraggio saranno inizialmente di 1, 3, 6 anni, arrivando a 12 anni per i tratti non interessati da processi idrogeologici rilevanti, con la possibilità di modificare la frequenza stessa in una logica di processo adattativo.

Per garantire una migliore gestione le strutture presenti a Catasto sono state suddivise in Opere idrauliche ed in Interferenze, distinguendo cioè le strutture con funzione di mitigazione del pericolo (13 tipologie) da quelle gravanti sul reticolo come intersezione con altre infrastrutture (7 tipologie, Fig. 2).

Fino ad ora il catasto opere idrauliche comprendeva un alto numero di campi, spesso di notevole dettaglio, per larga parte non compilati e quindi pregiudicanti la funzionalità del database. Il COInt è strutturato in un'entità generale, caratterizzata da 19 campi di cui 11 a compilazione automatica e 8 a compilazione guidata, descrittivi lo stato di consistenza (dalla progettazione alla demolizione), la tipologia e le modalità costruttive dell'opera e l'intorno della stessa in termini di area drenata, pendenza del canale e larghezza approssimativa dell'alveo. Oltre alla componente generale ogni opera o interferenza è descritta da un'entità di dettaglio, differente per ogni tipologia, che fornisce le caratteristiche costruttive e di dimensionamento utili ai fini gestionali, oltre alla localizzazione ed alla geometria spaziale (punto, linea, poligono). I descrittori strutturali dell'opera vanno così da un massimo di 8 per le briglie aperte ad un minimo di 2 per i drenaggi. A regime, ad ogni realizzazione o modifica dell'opera, per ottenere il certificato di regolare esecuzione (CRE), è richiesto l'aggiornamento del COInt.

Monitoraggio Ordinario del Reticolo e dei Sistemi (MORS) e Monitoraggio in Attivazione (MiA)

Gli indirizzi verso un approccio non strutturale alla mitigazione del pericolo contenuti nella normativa ai diversi livelli legislativi e spinti dalle nuove concezioni della gestione del territorio vanno a costituire la struttura portante del SiBaM. Da un lato il MORS ha l'obiettivo di indirizzare le strategie manutentorie nei confronti del patrimonio sistematorio esistente e del reticolo in modo da ottimizzarne l'efficacia in termini di diminuzione presente e futura del pericolo, dall'altra il MiA permetterà nel tempo una base conoscitiva fondamentale per la continua verifica delle carte di pericolo e per la gestione delle emergenze idrogeologiche ed idrauliche. Entrambe i monitoraggi seguono un approccio multilivello che permette approfondimenti a seconda della complessità dello scenario considerato.

Il MORS è strutturato su due livelli: un monitoraggio primario eseguito a scala di sistema ed un monitoraggio secondario a scala di singola opera o interferenza. Il monitoraggio primario è attivato in modalità ordinaria per cronologia sulla base della frequenza di monitoraggio determinato dalla tipologia di sistema stesso, ma è prevista la possibilità di attivazione per segnalazione, anche questa archiviata in un'entità dedicata, o per un evento. La scala di sistema permette di conferire al monitoraggio primario una natura booleana: percorrendo il sistema viene richiesto di segnalare o l'integrità o eventuali danneggiamenti di opere o problematiche nel reticolo. Nel caso in cui non vi siano segnalazioni rilevanti il monitoraggio termina sino alla scadenza cronologica successiva, nel caso opposto viene attivato il monitoraggio secondario sul COInt o sul detrito. La relativa facilità di questa fase permette di ipotizzare per questa componente del monitoraggio, più estensiva sul territorio, di coinvolgere soggetti esterni al Servizio come i custodi forestali ed i corpi volontari dei vigili del fuoco che ordinariamente pedonano il territorio (Arevalo et al. 2014). Nel caso in cui siano segnalate anomalie e venga attivato il monitoraggio secondario, viene rilevata in modo puntuale a scala di opera, interferenza o altro (accumulo di detrito o di detrito legnoso, necessità di manutenzione ordinaria di vegetazione) la gravità del danneggiamento o la tipologia di disturbo e la priorità di intervento. La distinzione tra le due componenti è fondamentale anche per permettere una gestione oculata della manutenzione dei danni alle opere strutturali che permetta di ridurre il potenziale di magnitudo futura di evento, in un'ottica di potenziamento della connettività del sedimento. La determinazione della priorità di intervento inoltre permette di gerarchizzare nel piano degli interventi l'ordinaria e la straordinaria manutenzione sul reticolo, in modo da distribuire in modo efficiente risorse umane e finanziarie. Entrambi i monitoraggi comprendono un meccanismo

di apertura e chiusura dipendenti dall'avanzamento della procedura e dall'aggiornamento della realizzazione delle opere manutentorie, in modo da garantire il mantenimento della funzionalità del database. La cronologia dei monitoraggi primari determinata dalla frequenza di monitoraggio attribuito ai sistemi origina un piano di monitoraggio pluriennale che permette l'ottimizzazione della gestione delle risorse all'interno dell'SBM.

Pur non essendo direttamente collegato al ciclo di vita delle opere strutturali, il MiA è inteso come componente integrante del SiBaM ed è teso al monitoraggio ed all'archiviazione degli eventi idrogeologici, con l'obiettivo di contribuire al servizio di piena e di migliorare la base dati per la continua verifica delle carte di pericolo. Per rispondere a questo obiettivo il MiA è strutturato in modo da separare l'evento pluviometrico dalle risposte idrogeologiche. Sulla base dei dati pluviometrici di tutte le stazioni disponibili vengono individuati ed analizzati gli "eventi meteorologici intensi", definiti come eventi superanti delle soglie di durata/intensità di precipitazione. Al superamento delle soglie determinate per ogni stazione viene originato un "evento-stazione", caratterizzato dai dati pluviometrici. In modo guidato gli eventi stazione possono essere collassati in un "evento meteorologico aggregato (ema)", in modo da riprodurre eventi estesi arealmente. Un ema può essere originato anche artificialmente nel caso di risposte a seguito di piogge sotto soglia o di supercelle localizzate da dato radar ma non registrate dalle stazioni a terra. ad ogni ema può essere associate una o più entità "risposta idrologica", caratterizzata da dati generali sulla tipologia di risposta, sulla magnitudo, sulla fonte dei dati e su dati generali a cose e persone coinvolte. La risposta idrologica non ha attributo geometrico, ed è il primo livello informativo per la descrizione di un evento idrogeologico, la cui descrizione è tanto più dettagliata quanto più risulta complesso e di interesse il fenomeno. Ogni risposta idrologica è descritta nella componente spaziale da almeno un poligono "area colpita", ossia l'area interessata da flusso o deposito all'esterno dell'alveo come definito dall'SBM, e descritta dalla definizione della tipologia e spessore di deposito o tirante e da pochi altri descrittori. Eventi via via più complessi possono rendere opportuno definire più aree colpite, anche per descrivere aree a diverse caratteristiche di deposito o flusso, aree sorgente (poligoni) e tratti di sviluppo dell'evento (lineari) opportunamente definiti nei disciplinari del SiBaM. Accanto a queste entità il sistema è aperto per recepire gli standard indicati dalle linee guida 29 dell'UE e dagli applicativi in via di sviluppo a livello nazionale.

Accanto al monitoraggio degli eventi idrogeologici il SiBaM comprende anche la gestione di punti di controllo del reticolo idrografico sia durante le criticità, coadiuvando il servizio di piena, sia nel controllo di punti notevoli dopo le emergenze, come guadi o altre zone sensibili.

Tecnologie innovative a sostegno del monitoraggio e della manutenzione: close range photogrammetry (CRP).

A sostegno sia del MORS sia del MiA ed a supporto della progettazione il SBM sta integrando nelle sue routine dei protocolli di rilievo topografico speditivo utilizzando la tecnica della fotogrammetria del vicino (CRP). L'utilizzo di questa metodologia permette di ottenere DEM ad alta risoluzione, mesh ed ortofoto a partire da immagini fotografiche comuni e non georiferite, tramite l'ottenimento di una nuvola di punti adimensionale e non orientata localizzata nello spazio tramite target rilevati con DGPS (Butler et al., 1998). I software commerciali a disposizione permettono un utilizzo user friendly adatto anche agli enti non di ricerca e ad un uso di routine, pur mantenendo elevati standard di precisione topografica (Ouedraogo et al., 2014), e numerose esperienze hanno evidenziato le potenzialità nel campo della geomorfologia in termini di economicità, facilità ed efficienza rispetto all'impiego del TLS, in particolare in contesti operativamente difficili (Theule et al., 2014). Attualmente è in elaborazione il protocollo di rilievo da terra tramite Sport Cam con fisheye (es. GoPro Hero Silver 3+), che riesce a coniugare la facilità di trasporto ed utilizzo con l'ottenimento di modelli sufficientemente accurati rispetto alle esigenze di monitoraggio e progettazione degli interventi (Thoeni et al., 2015, Fig. 3). In sintesi il protocollo del rilievo fotogrammetrico da terra prevede l'impiego di tre operatori, target quadrati metallici a scacchiera giallo-nera, un DGPS e l'utilizzo della Sport Cam tramite un supporto ad altezza variabile 1.5-3.5 m. La post-elaborazione è

interna al servizio tramite software commerciale o open source. L'attivazione dei protocolli è prevista in caso di richiesta di monitoraggio secondario su opere danneggiate, con la possibilità di impostare un rilievo multitemporale e quindi seguire nel tempo l'evoluzione del deterioramento delle opere, in particolare di quelle cardine, in modo da poter gestire in modo efficiente la cronologia delle manutenzioni e di fornire un supporto utile per la progettazione di eventuali interventi. Sono previste anche attivazioni del protocollo di rilievo fotogrammetrico per il rilievo multitemporale di opere di nuova costruzione, come briglie filtranti e relative piazze di deposito o tratti rinaturalizzati, per studiarne il comportamento e in un'ottica di processo adattativo migliorarne l'efficienza, l'efficacia e la resilienza agli eventi. In particolare l'analisi dell'efficienza dei filtri delle briglie aperte in termini di auto pulitura potrebbe fornire le basi per un miglioramento del design di tali sistemi ed avere effetti consistenti sui costi di gestione delle piazze di deposito.

Sul lungo periodo l'economicità dei protocolli potrebbe permettere lo sviluppo di casi sperimentali utili a migliorare la comprensione e la previsione dell'evoluzione delle curve di decadimento delle opere strutturali, permettendo sia di prevedere la variazione della magnitudo attesa nel tempo sia di supportare le analisi costi benefici con modelli statistici (Mazzorana et al., 2012).

I protocolli fotogrammetrici sono aperti a rilievi da drone e da elicottero, in particolare nell'ottica di integrare il MiA e di archiviare dati sulla dinamica degli eventi idrogeologici finalizzati alle back analysis ed alla continua verifica e miglioramento delle carte di pericolo.



Figura 3 - Esempio di rilievo realizzato con il protocollo di fotogrammetria su attivazione per il rilievo di una briglia danneggiata in un contesto operativamente complesso. Sulla destra il setting operativo con GoPro Hero Silver 3+.

Attività di sistemazione (AS)

Nel caso in cui il MORS, in seguito ad un monitoraggio secondario, determini la necessità di un intervento manutentivo sulle opere o sul reticolo, viene definita un'Attività di Sistemazione (AS). Il sistematore ha in questa fase il compito di definire la tipologia di attività (se ordinaria manutenzione o intervento), la tipologia dell'intervento e la priorità dello stesso considerando non più la scala di singola struttura come durante il monitoraggio secondario, ma alla scala di sistema. Dalla priorità dovrebbe discendere in modo coerente la previsione dell'anno di realizzazione, ed una stima sommaria dei costi di realizzazione. Assieme allo storico MORS, lo storico AS permette la tracciabilità di tutto il ciclo di vita di ogni opera, mantenendo il controllo completo sullo stato reale del patrimonio sistematorio Trentino. Dalle AS si originano un piano degli interventi proposti ed un piano delle manutenzioni proposte, che diventano la base informativa di supporto alle decisioni per la definizione del piano degli interventi come previsto dalla Legge Provinciale 11/2007.

Progettazione ed esecuzione (PrEs)

Una volta stabilito il piano degli interventi la Progettazione ed Esecuzione (PrEs) connette l'aspetto operativo al database finanziario dell'SBM, permettendo inoltre di completare la mappatura del ciclo di vita delle opere archiviando tutta la documentazione progettuale e di cantiere, compreso il libretto delle misure, in cui sono contenute tutte le misure di dettaglio non più gestite nel COInt. Il ciclo di vita delle opere di fatto si chiude con l'obbligo di aggiornamento del COInt, dell'AS e del MORS, nel caso in cui siano stati attivati

Outcome attesi: un sistema adattativo al servizio del presidio del territorio

Il SIBaM costituisce la struttura nascente di un cambio di metodologia di investimento e di tutela del territorio rispetto agli ultimi decenni, e potrebbe riportare la pratica di gestione dei bacini montani al passo con la normativa in merito e con gli avanzamenti scientifici del settore. Lo spostamento di risorse dal mero catasto verso il monitoraggio e la valutazione in più fasi dell'effettiva strategicità ed efficacia delle opere di manutenzione del patrimonio sistematorio, anche e specialmente in osservanza dei principi contenuti nelle Direttive Acque ed Alluvioni e della L.P. 11/2007 è la trasposizione pratica del passaggio da un approccio strutturale ad uno non strutturale e incentrato sulla pianificazione e sulla continuità del sedimento stesso. La tracciatura del ciclo di vita delle opere, dei monitoraggi, delle decisioni e degli interventi permetterà l'applicazione di metodo realmente adattativo per migliorare l'efficacia e l'efficienza delle strategie di mitigazione del pericolo.

In conclusione il sistema qui esposto si propone come miglioramento per la gestione dei bacini montani, mettendo in pratica le innovazioni tecnologiche e concettuali attualmente a disposizione e rimanendo aperto ad avanzamenti futuri.

Bibliografia

- Arattano M., Bertoldi G., Cavalli M., Comiti F., D'Agostino V., Theule J. (2015). Comparison of methods and procedures for debris-flow volume estimation. *Engineering Geology for Society and Territory*, 3: 115-119
- Arevalo C., Charriere, M. Bossi, G. Frigerio, S. Schenato, L., Bogaard T., Bianchizza C., Pasuto A., Sterlacchini S. (2014). Evaluation quality of data collected by volunteers for first level inspection of hydraulic structures in mountain catchments. *Natural Hazards Earth System Sciences Discussion*, 2: 3577-3614.
- Butler J. B., Lane S. N., Chandler H. (2003). Assessment of Dem Quality for Characterizing Surface Roughness Using Close Range Digital Photogrammetry. *The Photogrammetric Record* Volume 16, Issue 92: 271–291.
- D'Agostino V. (2010). Filtering-Retention Check Dam Design in Mountain Torrents. IN: *Check Dams, Morphological Adjustments*. Editors: Gracia, C.C., Lenzi, M.A. Nova Science Publisher: 185-210. ISBN 978-1-60876-146-3.
- Mazzorana B., Levaggi L., Formaggioni O., Volcan C. (2012). Physical Vulnerability Assessment Based in FLuid and Classical Mechanics to Support Cost Benefit Analysis of Flood Risk Mitigation Strategies. *Water*, 4: 196-218.
- Ouédraogo M.M., Degrea A., Debouchea C., Liseinb J. (2014). The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. *Geomorphology* Volume 214, 1 June 2014: 339–355.
- Puglisi C. (2009). Sulla Sistemazione dei Torrenti Montani. *Quaderni di Idronomia Montana*.
- Tacnet, J.M., Curt, C., Benjamin, R., Richar, D., 2012. Efficiency assessment for torrent protection works. *INTERPRAEVENT*, Grenoble, pp. 821 – 831.
- Thoeni K., Giacomini K., Murtagh R., Kniest E. (2014). A comparison of multi-view 3D reconstruction of a rock wall using several cameras and a laser scanner. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL5: 573-580.