

Utilità della delimitazione delle aree esposte alle conseguenze dell'occlusione degli alvei per frana

A cura di V. Francani

vincenzo.francani@polimi.it

Premessa

La cartografia delle aree che sono in grado di produrre frane e dissesti idrogeologici è a oggi molto completa e dettagliata sia a livello regionale sia a scala comunale. È quindi possibile compiere un ulteriore approfondimento affrontando il tema della cartografia delle aree che non producono dissesti, ma che sono sottoposte al rischio di riceverne gli effetti, tramite meccanismi spesso non semplici e quindi tali da renderne difficile la percezione e la previsione.

Questa necessità si può estendere a gran parte dei fenomeni di degrado ambientale ed è apparso utile evidenziarla con alcuni esempi che riguardano le aree franose.

E' noto che se i versanti presentano terreni instabili ed elevata pendenza, quindi incisi da corsi d'acqua dotati di buona portata in caso di piena, si possono manifestare dissesti capaci di occludere la sezione di flusso delle acque superficiali. Le aree nelle quali questi fenomeni franosi si realizzano sono oggi ben cartografate e delimitate. Le conseguenze a breve e a lungo termine di questi eventi possono portare gravi danni che colpiscono aree esterne a quelle di origine delle frane, delle quali sarebbe opportuna una accurata delimitazione perché spesso sono centri abitati o produttivi di grande interesse socio-economico.

Tali conseguenze derivano dal fatto che questi accumuli in alveo formano sbarramenti naturali che impediscono per qualche tempo il regolare deflusso. Quando, nel caso peggiore, nel corso della piena questi sbarramenti vengono distrutti dalle acque correnti, si riversa a valle una valanga di fanghi e massi che scorre ad alta velocità e si accumula nella piana sottostante producendo danni consistenti. Nel caso più favorevole le frane in alveo diventano luogo di provenienza di materiale detritico che viene a far parte dei sedimenti alluvionali senza produrre particolari squilibri.

Allo stato attuale sono molto numerosi e ben articolati gli studi previsionali di questo tipo di dissesti, che da oltre 30 anni suscitano l'interesse degli studi geomorfologici e geotecnici; appare quindi utile sottolineare l'opportunità di delimitare le aree che possono essere colpite da questi eventi che producono gravi danni sulla conoide dei corsi d'acqua che hanno subito lo sbarramento e nella piana alluvionale circostante, specialmente quando la componente limosa e argillosa dei terreni franati è rilevante. Tale fenomeno, noto come natural dam break è stato di frequente evidenziato in occasione di precipitazioni elevate

Ad esempio l'alluvione della Valtellina del 1987 si segnalò per dissesti di particolare gravità, che interessarono soprattutto l'area di Morbegno, Tartano, Colorina e Talamona situati nella media valle. L'entità dei dissesti venne ampliata dalla concomitanza con frane che produssero l'occlusione degli alvei elevando l'altezza dell'onda di piena ed aumentando la velocità del flusso dopo la distruzione dello sbarramento naturale.

Questo fenomeno fu particolarmente evidente nel caso di Fusine, cittadina sulla conoide del torrente Madrasco, che venne sbarrato da una frana nella parte medio-alta della valle.

Lo sbarramento fu in poche ore demolito dalle acque di superficie nel corso di un episodio pluviometrico di particolare entità e l'abitato posto sul fondo della Valtellina fu pesantemente danneggiato dai detriti del corpo di frana eroso e che l'onda di piena trasportò e depose fino all'alveo dell'Adda (figura 1)



Figura 1: l'abitato di Fusine sulla conoide del t. Madrasco e il deposito alluvionale conseguente al dam-break del 1987.

Il fenomeno viene così descritto dalle relazioni tecniche del tempo (Memore descrittive della Società Geologica Italiana, 1998)

I versanti della Valmadre, solcati da l T. Madrasco, vengono interessati da numerosi franamenti. La piena del Madrasco trasportò a valle un enorme quantitativo di detriti che ostruiscono un ponte situato nella parte alta dell'abitato di Fusine; dall'invaso così formatosi ha origine lo straripamento del torrente le cui acque travolgono da un lato Fusine dall'altro parte di Colorina. L'abitato di Fusine viene sommerso da coltri detritiche che danneggiano o e rendono inabitabili numerose abitazioni (90 senz'altro). A Colorina (62 evacuati) è la frazione Poirà ad essere particolarmente colpita. I terreni con colture agrarie alluvionate assommano complessivamente a 266 ha...

L'entità della piena fu quindi ampliata in modo imprevedibile dagli effetti dell'occlusione, e l'area colpita fu di poco inferiore al kmq. Nella adiacente valle Tartano nel 1914 un fenomeno del genere aveva prodotto danni su un'area ancora più estesa sulla conoide dell'omonimo torrente. Nelle cartografie di rischio che all'epoca erano alla fase iniziale della realizzazione dei piani di bacino non riportavano altre indicazioni di rischio se non quella di alluvione per piene del Fiume Adda per questa zona (piano della Selvetta).

Altri esempi simili e anche di maggiori dimensioni sono citati da diversi autori, che hanno posto in evidenza come la previsione delle piene che si verificano nei bacini montani caratterizzati da elevate pendenze e franosità dei versanti risulta molto difficile quando intervengono occlusioni dell'alveo, e deve essere integrata da una valutazione degli effetti che possono essere prodotti dalla loro distruzione, soprattutto con una previsione dell'area che ne può essere colpita, delle quali al momento non sono ancora diffuse in misura sufficiente le cartografie previsionali. Ciò non toglie che le basi per delinearne almeno orientativamente i limiti risultino disponibili, come si cercherà di evidenziare di seguito.

Le caratteristiche dei bacini che possono dare luogo a natural dam break

Il torrente Madrasco rappresenta un idoneo bacino di riferimento per questo tipo di dissesto, in quanto ospita molti degli elementi morfologici e geologici che, accompagnati all'elevata piovosità, possono innescare eventi del tipo in esame.



Figura 2: improvvisi restringimento dell'alveo, nel quale anche la sedimentazione di modeste quantità di materiale può produrre effetti di sbarramento

Un elemento di particolare importanza è dato dall'entità della massa dei detriti disponibile a franare nel corso dei fenomeni di instabilità. Nella figura 3 è rappresentata un'area di particolare franosità situata nella media valle Madre.

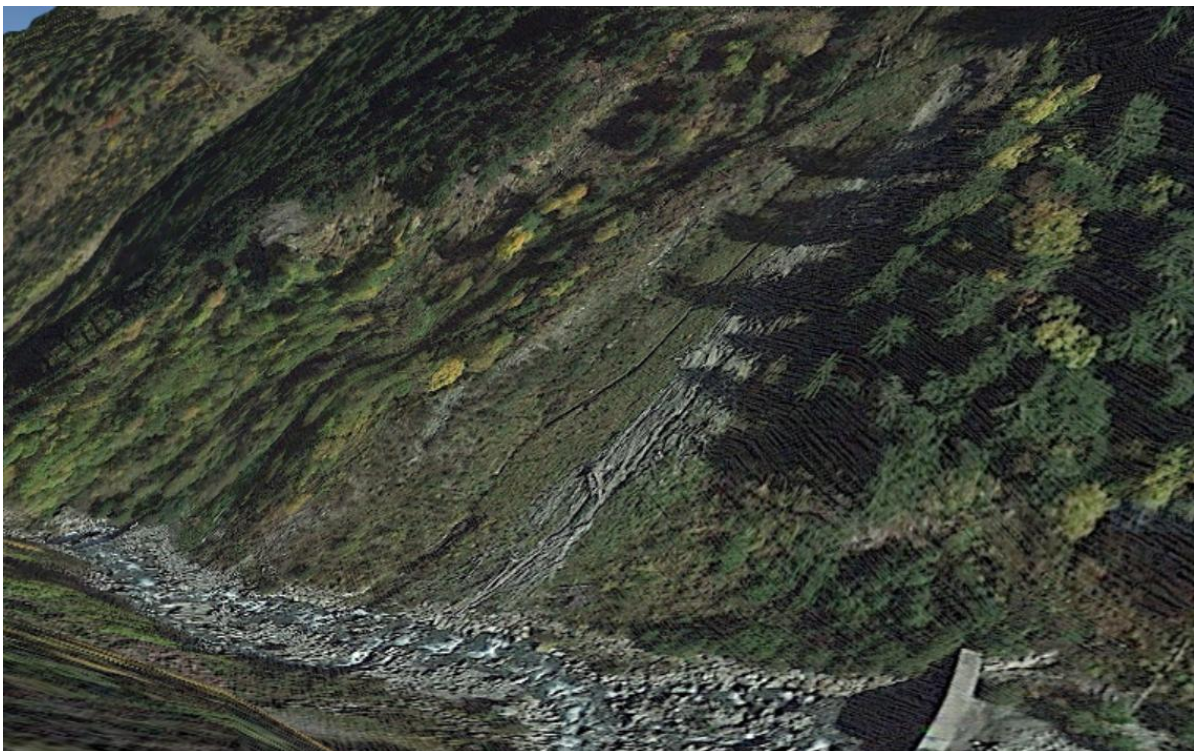


Figura 3 : ampia zona di alimentazione dei detriti, probabilmente quanto rimane di una recente frana, nella parte mediana della val Madre

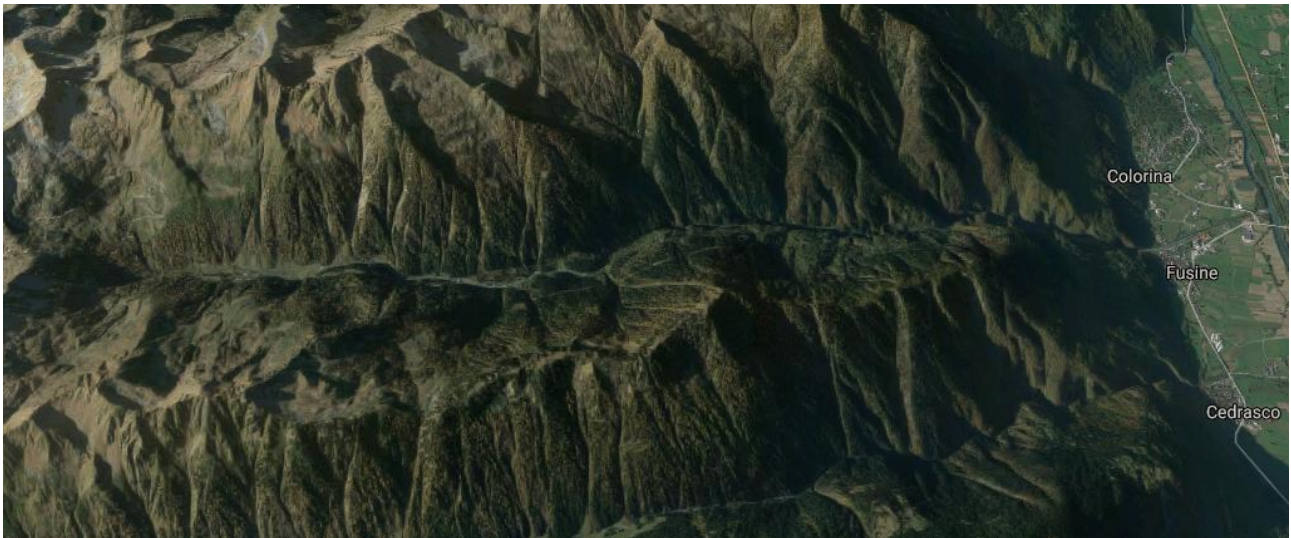


Figura 4. Morfologia del bacino: si notano ampie aree detritiche nella testata della valle, dove le precipitazioni sono maggiori, e la presenza di resti di grandi frane. Sono queste le maggiori aree di provenienza dei detriti e si nota che sono poste lungo il crinale occidentale del bacino, qui visto da Est.

Nella figura 4 è anche possibile discernere l'elevata pendenza del tratto terminale del corso d'acqua, a valle del tratto al quale provengono i detriti dalle aree franose, elemento che accentua la pericolosità del dam break. In generale si può concludere che bacini nei quali ricorrono con intensità maggiore gli elementi ora descritti sono quelli in cui prevedibilmente si hanno nel corso degli eventi pluviometrici maggiori, le più elevate probabilità dello sviluppo di occlusioni degli alvei e della conseguente accentuazione degli effetti delle piene.

Sono ovviamente particolarmente esposti i versanti appenninici e alpini costituiti da argilliti e argilloscisti, quelli in cui sono presenti frane quiescenti e dove le pendenze degli alvei sono consistenti. Nell'Italia settentrionale anche piccoli bacini possono dare luogo a pericolose piene, che finiscono con il trasportare un eccezionale volume di materiale, come descritto per bacini liguri, toscani, piemontesi e lombardi dai diversi autori citati in bibliografia. Per fare un esempio della vulnerabilità dei territori che si trovano allo sbocco di bacini per i quali si configura questo rischio, si può fare un esempio che rappresenta diverse tipologie di problemi per un'area caratterizzata da frequenti alluvioni

Gli studi precedenti

La previsione di eventi come quelli descritti, noti come "natural dam-break", è stata anche oggetto di studi specifici e dell'elaborazione di indici previsionali che permettono di analisi orientative sull'entità dell'esposizione dei versanti a questi non rari eventi. Il problema della traduzione in termini quantitativi dell'effetto che hanno nell'accentuazione dell'entità delle onde di piena questi fenomeni è molto sentito e sono in atto sperimentazioni della modellistica dei fenomeni franosi che interferiscono con gli alvei fluviali. Si nota che la previsione quantitativa dell'accentuazione della pendenza è di particolare difficoltà; risulta difficile modellare un processo che coinvolge dinamiche sia di versante sia d'alveo mediante un modello che sia allo stesso tempo semplificato e realistico.

Le occlusioni d'alveo si formano in diverse condizioni fisiografiche e ricoprono l'intera casistica delle tipologie di frana (Costa & Schuster, 1991). Nel grafico di Figura 5 è riportata la distribuzione percentuale delle differenti tipologie di frana che hanno causato sbarramenti d'alveo.

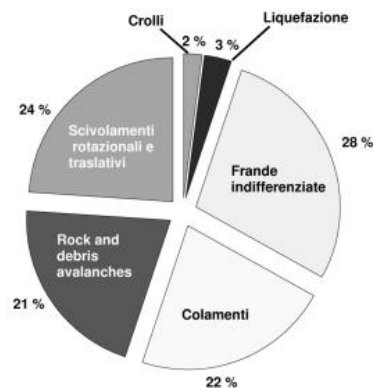


Figura 1: Distribuzione percentuale delle tipologie di frana che hanno generato sbarramento in alveo. Tratto da Costa e Schuster (1991).

Figura 5 tratta da Della Rosa e al.(2008) Si osserva che, tra tutte le tipologie di frane, quelle che causano maggiori problemi sono quelle che coinvolgono i maggiori volumi e che sono più rapide.

a) Valutazione della probabilità di occlusione dell'alveo

Alcuni Autori (Casagli & Ermini, 1999; Pirocchi, 1992) hanno già provato a dimostrare come la possibilità di occlusione d'alveo può essere individuata attraverso alcuni parametri geomorfologici che sono tipici sia del corso d'acqua, sia della frana. L'approccio più semplice proposto in letteratura è stato appunto quello dell'individuazione di alcuni indici geomorfologici, dipendenti da alcune variabili che descrivono morfometricamente sia il corso d'acqua sia la frana, e tali che potessero fornire indicazioni sia sulla possibilità di occlusione sia sulla conseguente possibilità di collasso della diga.

Ermini (2003) e Ermini & Casagli (2003) hanno creato un database dei fenomeni di sbarramento d'alveo partendo da un censimento dei casi avvenuti sia in Italia che nel mondo, aggiornando il database di Costa e Schuster (Costa & Schuster, 1991).

Partendo da questo database gli autori hanno proposto un indice per la stima della possibilità di occlusione, denominato Dimensionless Flow Index (DFI) (vedi eq 1), che tiene conto delle portate Q_p

del corso d'acqua (con tempo di ritorno 5 anni), confrontata con un altro parametro esprimibile in m^3/s , dato dal prodotto tra la velocità della frana, il suo spessore e la larghezza del fronte della frana. Si sono riportati i valori degli indici riscontrati per il caso in esame.

$$DFI = V \cdot W \cdot D / Q_p$$

Calcolando il valore dell'indice DFI per tutti i casi facenti parte del database prodotto, sembra emergere che, per valori di $DFI > 1$, si registra sempre la formazione di uno sbarramento totale.

Gli autori hanno proposto quindi un indice per la determinazione del grado di stabilità della diga, frutto di un approfondimento delle conoscenze acquisite tramite il Blockage Index (DBI secondo Casagli & Ermini, 1999).

$$DBI = \log (AH/V)$$

dove A è l'area del bacino idrografico a monte del fiume sbarrato, V è il volume della frana e H è l'altezza della diga naturale(da Della Rosa, 2017, figura 6). Le dighe parziali o non formate non sono state prese in considerazione in questo tipo di analisi, essendo l'altezza della diga abbastanza soggettiva.

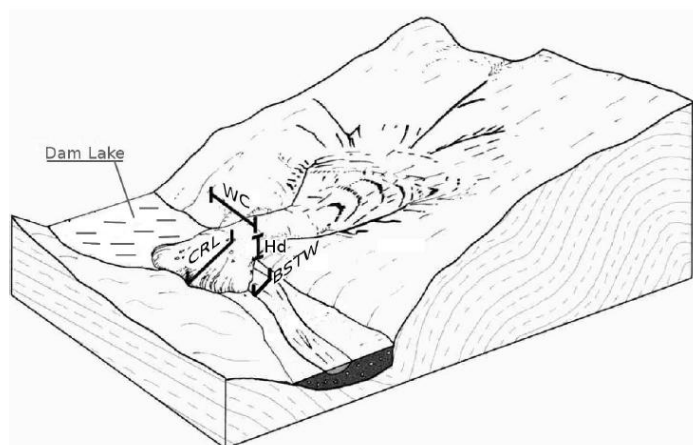


Figura 6: schema di occlusione d'alveo per frana (da Cencetti e al.,2006)

b) Valutazione dell'estensione dell'area colpita e dell'idrogramma di piena nel caso di rottura dello sbarramento

Per stimare l'idrogramma di piena corrispondente a quello generato dalla rottura dello sbarramento naturale, sono stati sviluppati metodi deterministici

Tra questi, il codice BREACH (Fread, 1991)sviluppato a partire dalla base teorica fornita da Meyer- Peter e Muller, è certamente il più utilizzato. Partendo dai fondamenti di questo modello di calcolo, è in effetti dimostrato che è possibile effettuare una valutazione quantitativa oggettiva anche se non precisa, dell'idrogramma di piena conseguente all'eventuale rottura. Di conseguenza si può anche delimitare approssimativamente l'area interessata dal fenomeno.

Cencetti,Taconi e altri(2006), hanno sperimentato il codice BREACH per valutare gli effetti della rottura di uno sbarramento in Valderchia presso Gubbio, confrontando i risultati con quelli che si possono ottenere dall'applicazione della relazione di Schoklitsch (1962) e completando questa analisi con un'accurata ricostruzione che tiene conto anche degli altri molteplici aspetti del problema, come quelli sedimentologici, geomorfologici e idraulici. Lo studio citato è un ottimo esempio dell'applicabilità di questa metodologia, che ha implicato una approfondita e accurata analisi dei molti fattori citati.

Dove non sia possibile acquisire tutti questi elementi, tra le soluzioni disponibili per una delimitazione orientativa delle aree che possono essere colpite da questo tipo di dissesti è stata sperimentata in diversi casi quella suggerita da Takahashi e altri (1981), che proposero l'utilizzo dei parametri caratteristici della massa fluido-detritica all'ingresso sulla conoide per calcolare la distanza x che rappresenta il raggio del cerchio nella quale è inclusa l'area esposta al danno.

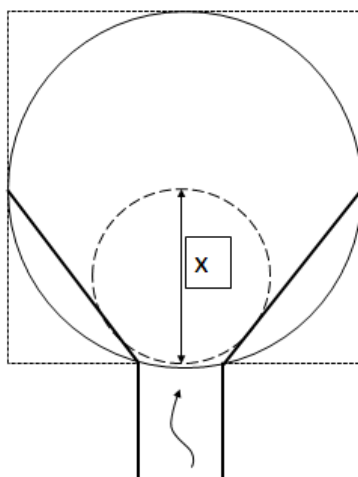


Figura 7: valutazione dell'estensione del conoide formato dai sedimenti di colata, secondo l'ipotesi di Takahashi, 1981

Il valore di x viene calcolato in base alla relazione $x = U^2 / G$, quindi da due parametri U e G ricavabili a loro volta dai valori di molti fattori che influiscono sulle modalità di sviluppo della colata fluido-detritica (Seminara e Tubino, 1993).

Dal momento che la previsione numerica tramite idonei modelli di calcolo di questi eventi è in corso da tempo con buone premesse (Della Rosa, 2008), ma non appare ancora disponibile per un utilizzo esteso, al momento è necessario verificare se i mezzi che si possono utilizzare per una prima indicazione orientativa sull'esposizione di un'area pedemontana a questi fenomeni, quali carte del dissesto e aggiornate cartografie geomorfologiche, permettono quanto meno di identificare i bacini nei quali il natural dam break può rappresentare un pericolo significativo. Si sono verificate queste possibilità nel caso di un esteso bacino dove è disponibile una vasta e moderna bibliografia derivante da accurate indagini in sito-

Un caso attuale

Come detto, si è constatato che gli eventi sono tanto più dannosi e frequenti quando a elevate precipitazioni si accompagnano fattori geologici e fisiografici quali la presenza di larghe masse di terreni instabili lungo i versanti e pendenze accentuate degli alvei, spesso in punti dove confluiscono gli apporti di più bacini caratterizzati da notevole instabilità dei versanti. L'area è stata oggetto di studi da molti anni con un'ottima produzione tecnica e scientifica, ed è quindi un esempio molto valido di cartografie idonee per valutare se esistono o meno possibilità di individuare la possibilità di eccezionali accumuli di materiale solido conseguenti alle forti precipitazioni e alla distruzione di sbarramenti naturali degli alvei.

Si osserva che questi elementi compaiono nella carta dei dissesti redatta dalla Provincia di Genova. Si nota come gli alvei delle rogge siano caratterizzati sia da elevata pendenza e dissestabilità. E' quindi fuori di dubbio che, nel corso delle precipitazioni più elevate, si formino frane lungo i versanti e che vi siano occlusioni d'alveo come loro diretta conseguenza.

Sono state redatte da diversi Enti e ricercatori le cartografie tecniche utili alla prevenzione dei dissesti elencati nella sitografia.

Carta geologica

http://www.comune.genova.it/sites/default/files/PUCDEF/1_DF/GEO_1_03/GEO_27_tav.pdf

Carta della franosità reale

http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/polcevera/tavole/GE_Polcevera_Frane_213150_rev01.pdf

Vincoli

http://www.comune.genova.it/sites/default/files/caricamenti_dal_2017/delibere_puc/LUGLIO2017/VINCOLI/pl_PUC_LIMITAZ_2020_27.pdf

Carta Geomorfologica

http://www.comune.genova.it/sites/default/files/caricamenti_dal_2017/delibere_puc/LUGLIO2017/MORFO/pl_PUC_MORFO_27.pdf

“Carta della suscettività al dissesto – Piano di bacino stralcio per la tutela del rischio idrogeologico – Torrente Polcevera” Autorità di Bacino, 2017

http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/polcevera/tavole/GE_Polcevera_Susc_213150_rev01.pdf

Carta idrogeologica

http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/polcevera/tavole/17_idrog_213150.pdf

Tavola 213150

<http://www.pianidibacino.ambienteinliguria.it/GE/polcevera/polcevera.html>

Studi in loco e considerazioni generali

Esaminiamo alcuni casi di interesse, per una prima verifica della possibilità di previsione di eventi del tipo descritto in cui le premesse geomorfologiche, idrologiche e tecniche per la creazione di sbarramenti per frana sono presenti, ma le aree che ad essi sono esposte non sono delimitate. Si nota infatti dalle cartografie che le aree situate ai piedi dei versanti, tutte pianeggianti e costituite da depositi detritico-alluvionali dotati di parametri tecnici ottimi per le fondazioni, non sono franose, e sono state quindi cartografate come aree a rischio nullo. Nella realtà queste zone sono state soggette a dissesti, che le hanno colpite anche in diverse occasioni sia pure con danno di entità diversa.

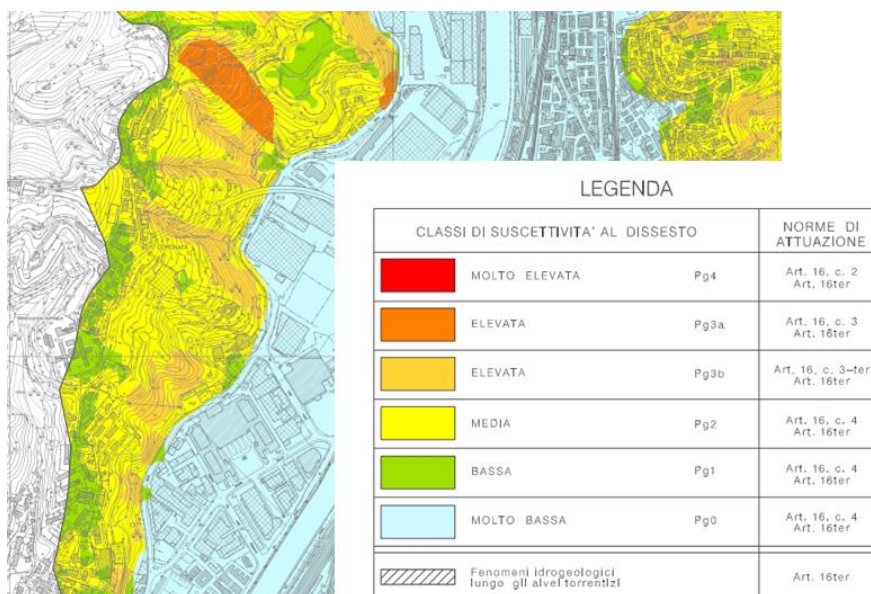


Figura 8 Caso 1: vulnerabilità ai dissesti dell'area (carta della suscettività al dissesto dell'Autorità di Bacino)

Il versante del caso 1 comprende un vasto settore costituito da terreni argillosi soggetti a frane anche recenti (es. 2014), e profondamente inciso dai corsi d'acqua oggetto di indagine. Il trasporto solido, alimentato anche dalle piccole frane che si formano nel corso delle piogge, risulta in queste condizioni

alquanto sensibile, anche perché i terreni in frana hanno una forte componente argillosa, capace di dare origine a fanghiglie che aumentando la densità del fluido in movimento, favoriscono il trasporto di materiale solido anche di grandi dimensioni lungo l'alveo. In questo caso, i dati dello sbarramento naturale e delle portate sono disponibili, e pertanto calcolando i valori degli indici riportati in letteratura, si ottiene:

$$DFI = V \cdot W \cdot D / Q p$$

$$DBI = \log (AH/V)$$

L'area in oggetto risulta da questi calcoli vulnerabile.

Caso 2

I bacini rappresentati confluiscono in prossimità dell'abitato e ospitano alcuni casi di dissesti correttamente individuati nella cartografia. Un esame congiunto della cartografia geologica e dei rilievi satellitari permette di evidenziare che le rocce instabili sono metamorfite basiche fortemente fratturate e alterate in spessi suoli argilloso-limosi che, dove l'infiltrazione è sufficiente, danno luogo a sorgenti lungo gli alvei.

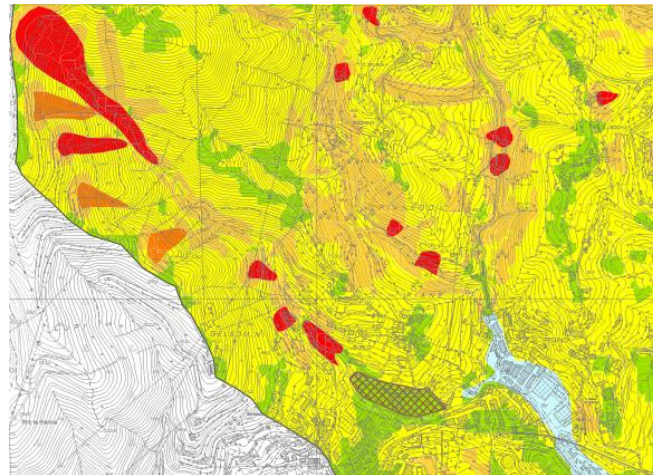


Figura 9 a La zona rappresentata è posta sopra Sestri, alle pendici del Bric dei Corvi presso Borzoli (Genova)



Figura 9 b La parte alta della valle principale mostra la granulometria prevalentemente grossolana del materiale di frana (in rosso nella 9 a)

La disposizione delle frane in atto permette di evidenziare che esiste una rilevante probabilità di occlusione degli alvei, soprattutto per il rilevante volume complessivo dei terreni mobilizzabili in caso di forti precipitazioni, sia per i consistenti restringimenti degli alvei. In questo caso non si dispone di dati relativi allo sbarramento, tuttavia una valutazione orientativa è possibile. Due fattori favorevoli consentono di ritenere meno gravi del caso precedente le conseguenze di elevate precipitazioni. Il primo di questi elementi è la non elevata pendenza degli alvei, idonea ad attenuare la velocità di propagazione dell'onda di piena conseguente all'eventuale dam break. Il secondo fattore favorevole è rappresentato dal fatto che i detriti non hanno un tenore di argille significativo (per lo più meno del 30%), e che appare quindi difficile la formazione di colate fangose in grado di consentire il trasporto di grandi massi.

Caso 3

L'area non solo è interessata da diversi piccoli dissesti in atto, ma presenta tratti di versante soggetti a possibili franamenti, alcuni dei quali posti lungo gli alvei. La componente argillosa nelle formazioni affioranti non è trascurabile, ma è subordinata a quella calcarea. L'ampia coltre detritico alluvionale originata dai torrenti affluenti verso il corso d'acqua principale testimonia dell'entità del trasporto solido di questi bacini secondari. Nel complesso quindi si deve ritenere che l'area abitata sia esposta al natural dam break.

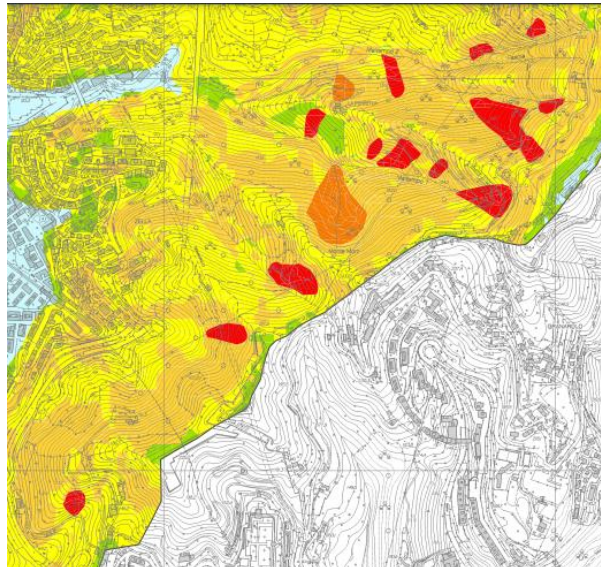


Figura 10 : carta dell'esposizione al dissesto del caso 3

L'esame dei tre casi porta a concludere che una approssimativa identificazione della reale possibilità che fenomeni di natural dam break possano avvenire e recare forti danni alle aree situate ai piedi dei versanti è possibile sulla base dei dati esistenti; tuttavia una valutazione dell'entità del rischio è lontana dall'essere raggiunta con questi metodi tradizionali. Solamente lo sviluppo dell'applicazione dei metodi che forniscono una prima indicazione quantitativa, come quello del DFI e del DBI, può al momento fornire un orientamento significativo.

Conclusioni

Come si può notare dalle figure, nonostante la qualità elevata degli studi compiuti, in nessuna cartografia appare in modo chiaro il pericolo al quale sono sottoposti i centri abitati che sono spesso posizionati in un'area che le cartografie dei dissesti classificano a rischio nullo. Non è infatti disponibile una cartografia del rischio di alluvionamento conseguente a occlusione degli alvei causata da frane o da eventi naturali assimilabili. Si rileva che questa lacuna favorisce il ripetersi sempre più frequente sulle conoidi dei torrenti e

dei corsi d'acqua minori di eventi alluvionali in cui l'entità delle piene e dei danni è prodotta dal sommarsi di elevate portate e di sbarramenti degli alvei per frane.

L'esame di alcuni casi attuali indica che recenti episodi di esondazione (2014 e 2019) avrebbero avuto danni più limitati se i versanti fossero stati sottoposti a un esame mirato a evidenziare le aree vulnerabili al natural dam break, anche basato solo sulle esistenti carte dei dissesti e della geologia.

Gli esempi riportati chiariscono che, rispetto ai risultati ottenuti con questa elementare procedura, si avrebbe una maggiore precisione con valutazioni quantitative del rischio compiute secondo le indicazioni che la letteratura di cui si sono esposti gli esempi ha da tempo fornito. Tali considerazioni inducono a credere che sia possibile e opportuno sviluppare una cartografia delle aree soggetta a questo tipo di fenomeni molto più significativa di quella che è stata impiegata nei casi descritti, impiegando le moderne tecniche idrologiche e geomorfologiche e una più dettagliata rilevazione della distribuzione delle proprietà tecniche dei terreni.

Parallelamente si osserva che per una previsione ragionevole delle aree a rischio dovrebbero essere rese disponibili anche cartografie dei possibili effetti che l'intensa urbanizzazione dell'area può avere prodotto, quali l'ingombro delle infrastrutture che consentono alle acque di piena cariche di detriti il sottopasso delle strade, e l'ingombro con prodotti di scarto e rifiuti degli alvei.

Bibliografia

Cencetti C., Fredduzzi A., Marchesini I., Naccini M., Tacconi P., 2006. Some considerations about the simulation of the breach channel erosion on landslide dams. *Computational Geosciences* 10 (2), 201–219.

Cencetti C., Conversini P., Ribaldi C., 2001. Studio dei sistemi alveo-pianura fluviale in relazione alle interazioni con fenomeni franosi di versante. *Memorie Società Geologica Italiana* 56, 249–263. C

Costa J.E., & Schuster R., 1988. The formation and failure of natural dam. *Geological Society of American Bulletin* 10, 1054–1068. Costa J.E., & Schuster R., 1991. Documented historical landslide dams from around the world. Open file report, US Geological Survey.

Coulthard T. & Kirkby M., 2000. Modelling geomorphic response to environmental change in an upland catchment. *Hydrological Processes* 14, 2031–2045.

Coulthard T., 2001. Landscape Evolution Models: A software review. *Hydrological Processes (HP Today)* 15, 165–173.

Coulthard T., Macklin M., Kirkby M., 2002. Simulating upland river catchment and alluvial fan evolution. *Earth Surface Processes and Landforms* 27, 269–288.

De Finis E., Gattinoni P., Marchi L., Scesi L., 2017. Modeling debris flows in an anomalous basin-fan system. *Atti Conv. Lubiana* 2 giugno 2017

Della Rosa P. (2008). Un approccio modellistico per il fenomeno delle occlusioni d'alveo per frane. *Giornale di Geologia Applicata*

Ermini L., 2003. Gli sbarramenti d'alveo da frane: criteri speditivi per la stesura di scenari evolutivi derivanti dalla loro formazione. *AIGA - I° Convegno Nazionale*, 355–367.

Ermini L., & Casagli. N., 2003. Prediction of the behaviour of landslide dams using a geomorphological dimensionless index. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 31–47.

Fread D.L. (1988, revised 1991). *BREACH: An Erosion Model for Earthen Dam Failures*. NWS Report, National Oceanic and Atmospheric Administration, Silver Spring, Maryland, 35 pp

Montgomery D. R. & Dietrich W. E., 1994. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, 30 (4), 1153–1171.

Murray A.B. & Paola C., 1994. A cellular model of braided rivers. *Nature* 371, 54–57. Nicholas A.P., 2005. Cellular modelling in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 645 – 649.

Pirocchi A., 1992. Laghi di sbarramento per frana nelle Alpi: tipologia ed evoluzione. *Atti I convegno Nazionale Giovani Ricercatori in Geologia Applicata* 93, 128 – 136.

Seminara e Tubino, 1993. *Debris Flows: meccanica controllo e previsione*, GNDCI CNR

Wilcock P.R., Crowe. J., 2003. Surface-Based transport model for mixed-size sediment. *Journal of Hydraulic Engineering* 129 (2),