

Appendice 2 - Metodologia per la definizione della Pericolosità da dissesti di natura geomorfologica nel bacino del fiume Serchio

1. Premessa.

L'analisi della pericolosità di frana nel bacino del Serchio, intesa come probabilità di accadimento di un movimento franoso, è stata svolta partendo dal quadro conoscitivo geomorfologico di base rappresentato dalla Carta della Franosità del Bacino del Fiume Serchio (Piano di bacino, stralcio per l'assetto Idrogeologico" PAI del fiume Serchio, approvato con DCRT n. 20 del 01.02.2005, modificato dal "Piano di Bacino, stralcio Assetto Idrogeologico Primo Aggiornamento" (approvato con DPCM 26.07.2013) e dal "Piano di Bacino, stralcio Assetto Idrogeologico – Secondo Aggiornamento" (adottato in data 17/12/2015 con delibera n.180 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio), alla scala 1: 10.000 ed estesa tu tutto il bacino.



Figura 8 – Quadranti oggetto del Primo aggiornamento del PAI (2013, a sinistra) e del Secondo aggiornamento (2015, a destra)

Carta della franosità del Bacino del Fiume Serchio: sezioni in scala 1:10.000 (http://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=3512)

a) Primo aggiornamento

(http://www.autorita.bacinoserchio.it/piani_stralcio/assetto_idrogeologico/variante_piano_bacino_1_aggiornamento_adottato)

b) Secondo Aggiornamento (in blu le sezioni contenenti aggiornamenti del quadro conoscitivo geomorfologico)

http://www.autorita.bacinoserchio.it/piani_stralcio/assetto_idrogeologico/progetto_piano_bacino_2_aggiornamento

La carta della Franosità del bacino del Fiume Serchio costituisce uno strumento conoscitivo di rilevante importanza per l'analisi della pericolosità di frana, in quanto rappresenta lo stato delle conoscenze in merito agli aspetti geomorfologici di natura gravitativa del bacino, ed inoltre contiene una grande quantità di informazioni di carattere geologico, geologico tecnico e statistico, quest'ultime relative alla propensione al dissesto dei versanti.





Preme ricordare che la Carta della franosità del bacino del Fiume Serchio (qui descritta in dettaglio in ogni aspetto

http://www.autorita.bacinoserchio.it/piani_stralcio/assetto_idrogeologico/variante_piano_bacino_1_aggiornamento_adottato/relazione_piano) è stata recentemente aggiornata (Piano di Bacino, stralcio Assetto Idrogeologico – Secondo Aggiornamento, adottato in data 17/12/2015 con delibera n.180 del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Serchio) a seguito degli eventi di dissesto idrogeologico che dall’ottobre 2013 fino al febbraio 2014 hanno duramente colpito la media Valle e la Garfagnana, e dei dissesti conseguenti l’evento calamitoso del 21/7/2014 in Valfreddana. L’aggiornamento cartografico ha riguardato il territorio di 11 Comuni per lo più montani, ed ha comportato la mappatura di 167 nuove frane attive, 18 coni detritico-alluvionali interessati da fenomeni di debris-flow di varia intensità ed aree soggette a franosità per erosione di sponda.

2. La carta della pericolosità di frana nel bacino del Fiume Serchio.

Come indicato nella *Relazione di Piano*, l’obiettivo della variante generale al PAI per i bacini Arno, Serchio ed ex-bacini regionali toscani è quello di ottenere, oltre a delle norme uguali, una mappa della pericolosità che sia omogenea e coerente per tutti i bacini interessati. Poiché per il bacino del Serchio tale mappa non esisteva, in quanto il PAI era stato a suo tempo sviluppato con metodologia in parte diversa (vedi *Relazione di Piano*), si è dovuto procedere ad una elaborazione della Carta della Franosità al fine di ottenere una mappa di pericolosità coerente con il resto dei bacini oggetto di variante.

La carta della pericolosità di frana si presenta quindi come una carta tematica derivata dalla carta geomorfologica, con indizi di pericolosità rappresentata dalla Carta della Franosità del bacino del Fiume Serchio in scala 1: 10.000. La trasposizione della carta geomorfologica in carta di pericolosità è in sostanza il risultato dell’applicazione critica, alla nuova cartografia, delle norme già presenti nel PAI rischio frane del Serchio, e della loro successiva rilettura alla luce dei criteri e della nuova disciplina di piani della variante PAI interessante i bacini toscani del distretto (Arno, Serchio ed ex-bacini regionali toscani). La cartografia finale risultante è espressa, come per Arno e bacini toscani, sotto forma di poligoni caratterizzati ciascuno da un diverso grado di pericolosità:

- pericolosità molto elevata (P4) 
- pericolosità elevata (P3) 
- pericolosità media (P2) 
- pericolosità bassa (P1) 

Nella mappa di pericolosità finale sono state introdotte anche quelle aree, con diverso grado di pericolosità, per le quali le norme di PAI del Serchio definivano fasce di rispetto di tipo geometrico (fasce di rispetto di frane, aree di scarpata, etc.). Tali aree finora non erano mai state esplicitate come perimetro o poligono nella carta della franosità e presentavano margini di interpretazione soggettiva con conseguente difficoltà di applicazione delle norme.

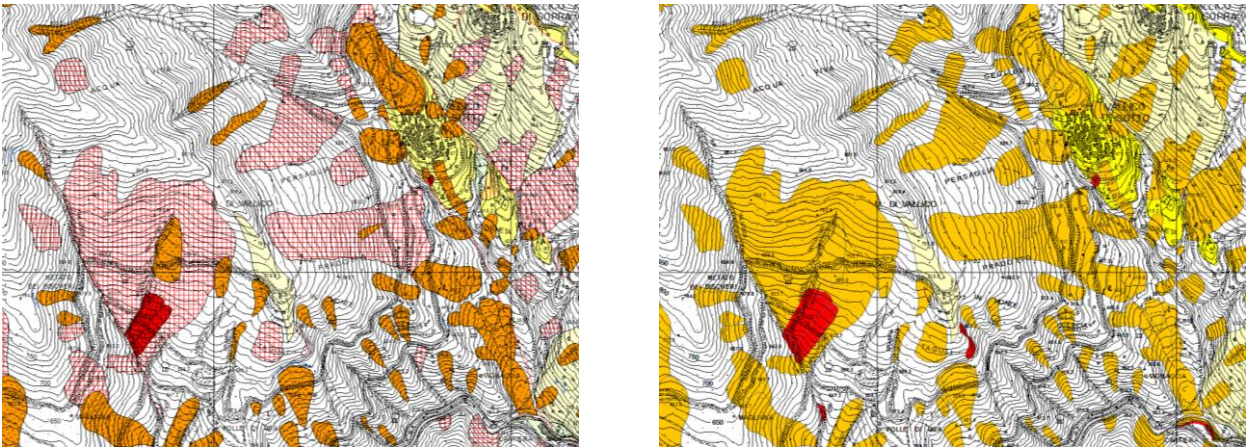


Figura 9 - Carta della franosità (a sinistra) e della Pericolosità (a destra)

Di seguito sono indicate le forme originarie comprese nella Carta della franosità e la loro trasposizione nelle classi di pericolosità:

Aree a pericolosità molto elevata P4

- Corpo di frana attiva;
- area compresa tra il corpo di frana attiva e la nicchia di distacco di frana attiva, ove presente.
- fascia di rispetto del corpo di frana attiva pari a $\frac{1}{4}$ della larghezza massima del corpo di frana attiva;
- aree soggette a franosità per erosione di sponda;
- aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività. In particolare: aree esposte a possibili fenomeni di crollo o di distacco massi (vedi nota 1);
- aree al bordo di terrazzi fluviali e/o morfologici in genere soggette a possibili collapsi o frane (vedi nota 2);
- aree al bordo delle ex cave di sabbia silicea nell'area del lago di Massaciuccoli;
- fascia di rispetto di aree al bordo delle ex cave di sabbia silicea nell'area del lago di Massaciuccoli per una ampiezza pari ad 1,5 volte la profondità della buca;
- doline (vedi nota 3).

Aree a pericolosità elevata P3a

- Corpo di frana quiescente;
- area compresa tra il corpo di frana quiescente e la nicchia di distacco di frana quiescente, ove presente;
- Aree soggette a franosità in terreni prevalentemente argillitici acclivi e/o con situazioni morfologiche locali che ne favoriscono l'imbibizione;
- Aree soggette a franosità in terreni argillitici acclivi;
- Aree soggette a franosità in terreni acclivi argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici;
- Conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggetti a fenomeni di *debris-flow*;
- Masse rocciose dislocate unitariamente da movimenti franosi;
- Aree interessate da deformazioni gravitative profonde certe;
- Aree potenzialmente franose per caratteristiche litologiche;
- Aree di scarpata di terrazzi fluviali e/o morfologici in genere, soggette a possibili collapsi o frane.

Aree a pericolosità media P2 e bassa P1

Le aree a pericolosità P2 e P1 sono state ridefinite con la metodologia descritta nell' "Appendice 1 – Metodologia per la definizione a scala di distretto delle aree oggetto di pericolosità elevata (P3b), media

(P2) e bassa (P1) e per la determinazione delle aree soggette a subsidenza per emungimento di acque sotterranee". Con la medesima metodologia sono state introdotte, nel bacino del Serchio come nel resto dei bacini oggetto di variante, le aree a pericolosità elevata *P3b* ovvero quelle che presentano condizioni di propensione al dissesto per effetto di elementi fisici predisponenti (vedi la richiamata Appendice 1). Tuttavia, trattandosi di una metodologia mirata a valutare la propensione al dissesto in aree apparentemente stabili, è stato deciso di mantenere comunque in classe *P2* anche alcune forme morfologiche derivate dall'originaria carta della franosità e ritenute a pericolosità media, come le aree interessate da deformazioni gravitative profonde presunte e i coni misti detritico-alluvionali. Le aree *P1* sono state invece sostituite integralmente da quanto prodotto con la suddetta metodologia. In ogni caso, tutte le informazioni riportate nella carta della franosità sono state trasferite nel geodatabase dei dissesti di natura geomorfologica.

- (1)** In questo caso la norma di PAI Serchio prevedeva 2 fasce di rispetto da individuare rispettivamente a partire dal ciglio di scarpata di terrazzo e al piede, di ampiezza pari all'altezza della scarpata. Considerato che le aree esposte a possibili fenomeni di crollo o di distacco massi riguardano di frequente ampie aree di versante con dislivelli di quota tra la sommità ed il piede del versante talvolta considerevoli, dove individuare una vera e propria scarpata risulta assai difficoltoso se non con rilievi specifici o valutazioni di campagna a seconda del caso, si è ritenuto di procedere ad una selezione delle aree soggette a crollo evidenziando quelle limitrofe od interferenti in modo significativo con ad elementi a rischio (aree residenziali ed infrastrutture da CORINNE 2016). Su queste aree (circa 450 su un totale di circa 1850 forme) è stato realizzato un buffer di 30m come area di rispetto, tralasciando le aree di crollo in aree boscate. Con le prossime revisioni del quadro conoscitivo saranno svolti approfondimenti per eventualmente dettagliare con maggior precisione e su base fisica tali poligoni.
- (2)** In questo caso la norma di PAI Serchio prevedeva 2 fasce di rispetto da individuare rispettivamente a partire dal ciglio di scarpata e al piede, di ampiezza pari all'altezza della scarpata. In questo caso particolare, considerato il fatto che i fenomeni franosi attivi lungo tali aree di scarpata sono stati individuati e perimetrati come aree a pericolosità molto elevata *P4* comprensivi di fasce di rispetto (pari ad $\frac{1}{4}$ della larghezza massima del corpo di frana), l'area di scarpata di terrazzo soggetta a possibili collassi o frane originariamente da considerare come area a pericolosità molto elevata *P4*, è stata perimetrata come area a pericolosità elevata *P3* proprio per dar risalto ai fenomeni franosi attivi presenti. È stata conservata la fascia di rispetto al bordo del terrazzo fluviale così come già individuata nella carta della franosità, mentre non è stata perimetrata la fascia di rispetto al piede del versante per i motivi già precedentemente espressi in relazione ai fenomeni franosi attivi che, ove presenti, di per sé sono già comprensivi di una fascia di rispetto perimetrale pari a $\frac{1}{4}$ della larghezza massima del corpo di frana. Si rimanda comunque a futuri approfondimenti e studi di dettaglio per una valutazione maggiormente approfondita del fenomeno.
- (3)** Le aree già individuate nella carta della franosità del F. Serchio come doline e verificate attraverso l'analisi dei Rilievi LIDAR 3D e dei modelli digitali del suolo più recenti disponibili, sono state inserite tra le aree a pericolosità molto elevata *P4* in quanto aree di dolina in ambiente montano soggette a progressivo, anche se lento, sprofondamento. Sempre legata a fenomeni di sprofondamento-subsidenza anche se di natura diversa (tettonico-termale), merita una menzione particolare l'area del "Bagno" o "Pra di Lama" nel Comune di Pieve Fosciana in Garfagnana, inserita tra le aree a pericolosità elevata *P3a* nella carta della pericolosità, come peraltro evidenziato dall'Unione dei Comuni della Garfagnana nei recenti scambi istituzionali per la valutazione dei Piani Strutturali intercomunali, e meritevole di futuri approfondimenti conoscitivi.

Bibliografia

Carta della franosità del Bacino del Fiume Serchio: Fonti cartografiche Principali

Baldacci F. - Cartografie inedite. Bellincioni P., (1959) - Carta geologica del Nucleo Mesozoico della Val di Lima (1: 25.000).

Boccaletti M., Coli M., et alii (1987) - Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale (1: 250.000).

Dallan L., Verani M., (1981) - Geologia dell'Appennino settentrionale tra Val di Lima e Pistoia (1: 25.000).

Dallan Nardi L., Nardi R., (1974) - Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino settentrionale.

Nardi R., Dallan L., Puccinelli A. Trivellini, M. D'amato G. (1991) - Carta geologica schematica della media e alta Val di Serchio (1: 200.000).

Nardi R., Puccinelli A., Verani M., (1981) - Carta geologica e geomorfologica con incisioni di stabilità (Provincia di Pistoia) (1: 25.000).

Sguazzoni G., Sani F., Fazzuoli M., et alii (1994) - Geologia del nucleo mesozoico della Val di Lima, il Passo delle Radici e l'alta Valle del Torrente Corsonna (1: 100.000).

Merla G. Trevisan L., (1968) - F°97, S. Marcello Pistoiese (1: 100.000). Giannini E., Nardi R., (1965) - Carta geologica della zona nord-occidentale del Monte Pisana e dei Monti d'Oltre Serchio (1: 25.000).

Rau A., Tongiorgi M., (1974) - Carta geologica dei monti Pisani e sud-est della Valle del Guappero (1: 25.000).

Trevisan L., et alii (1969) - F°104 Pisa, F°105 Pisa (1: 100.000).

Convenzioni: Università di Pisa, Dipartimento di Scienze della Terra (Prof. A. Puccinelli); Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Terra e Centro di Geotecnologie (Prof. L. Carmignani).

Strutturazione della Banca Dati Geografica - S.I.T. Autorità di Bacino pilota del Fiume Serchio (Anno 2006 - Dott. N. Coscini). Aggiornamento cartografico (Dott. F. Falaschi).

3. Approfondimenti ed elaborazioni di dettaglio

Nell'ambito del processo di derivazione della carta di pericolosità di frana a partire dalle informazioni di natura geomorfologica contenute nella Carta della Franosità del Bacino del Fiume Serchio, sono stati condotti approfondimenti necessari alla perimetrazione delle aree a diverso grado di pericolosità. In sintesi si riportano di seguito quelli maggiormente significativi e che hanno comportato la messa in opera di elaborazioni di tipo *GIS* di particolare complessità.

Calcolo della fascia di rispetto del corpo di frana attiva

Il calcolo della fascia di rispetto del corpo di frana attiva, pari a $\frac{1}{4}$ della larghezza massima del corpo di frana, è stato realizzato attraverso strumenti *GIS* computerizzati, considerato l'elevato numero di corpi di frana attivi presenti (circa 4200). Tali strumenti hanno consentito di valutare la larghezza massima del corpo di frana, di perimetrare una fascia di rispetto secondo quanto previsto e di unire le fasce di rispetto sovrapposte totalmente o parzialmente in un unico poligono con grado di pericolosità molto elevata *P4*.

Al fine di perimetrare la fascia di rispetto corrispondente ad ogni frana attiva già cartografata, è stato utilizzato uno strumento *GIS* "*Feature Envelope to Polygon*", che crea il rettangolo di dimensione minime di involucro del corpo di frana.

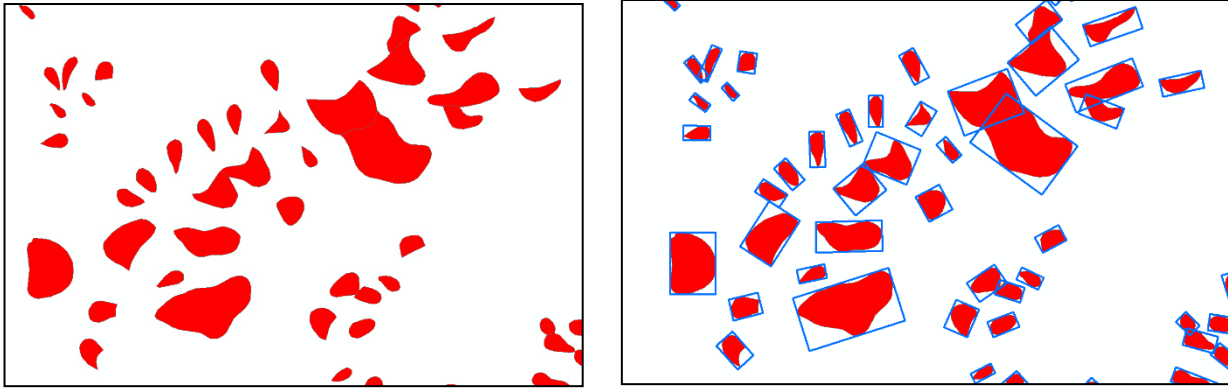


Figura 10 - Corpo di frana attiva (a sinistra) e rettangolo di involucro del corpo di frana (a destra)

Ciascun rettangolo di involucro rappresenta un “record” all’interno del *database* associato ad dato vettoriale poligonale nel quale sono presenti molteplici informazioni inerenti la geometria e le misure del rettangolo.

Successivamente, conoscendo la direzione del corpo di frana e l’orientazione del rettangolo di involucro è stato possibile determinare quale lato del rettangolo rappresentasse la larghezza del corpo di frana. Nei casi di forme molto complesse dove applicare questa procedura avrebbe comportato approssimazioni eccessive si è provveduto a calcolare manualmente la larghezza massima.

Il passo finale è stato quello di utilizzare lo strumento “*Buffer*” per rappresentare un contorno al corpo di frana attiva calcolato pari a $\frac{1}{4}$ della larghezza massima del corpo di frana

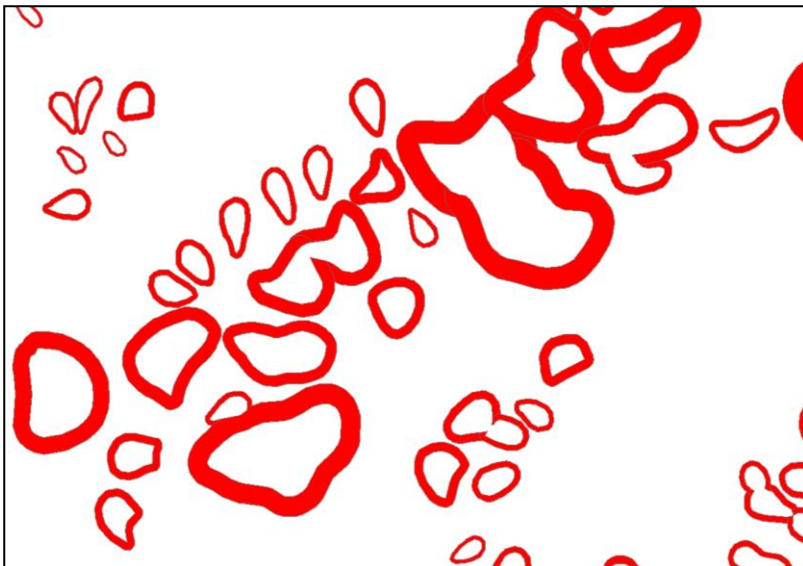


Figura 11 - Fascia di rispetto del corpo di frana attiva

Conoidi detritico-alluvionali e conoidi soggetti a fenomeni di debris-flow

Il fenomeno rappresentato dalle colate rapide detritico torrentizie è un fenomeno sempre più presente nella parte collinare e montana del Bacino, sebbene con intensità diverse. Lo dimostrano i recenti eventi di dissesto

idrogeologico del 21 ottobre 2013 e del gennaio-febbraio 2014 in media Valle e Garfagnana e del 21 luglio 2014 in Valfreddana di cui si riportano alcune immagini scattate durante i sopralluoghi.



Figura 12 - Immagini relative a debris flow che hanno colpito Galliciano (21 ottobre 2013, in alto a sinistra), Fabbriche di Vergemoli Fosso della Meta (21 ottobre 2013, in alto a destra)

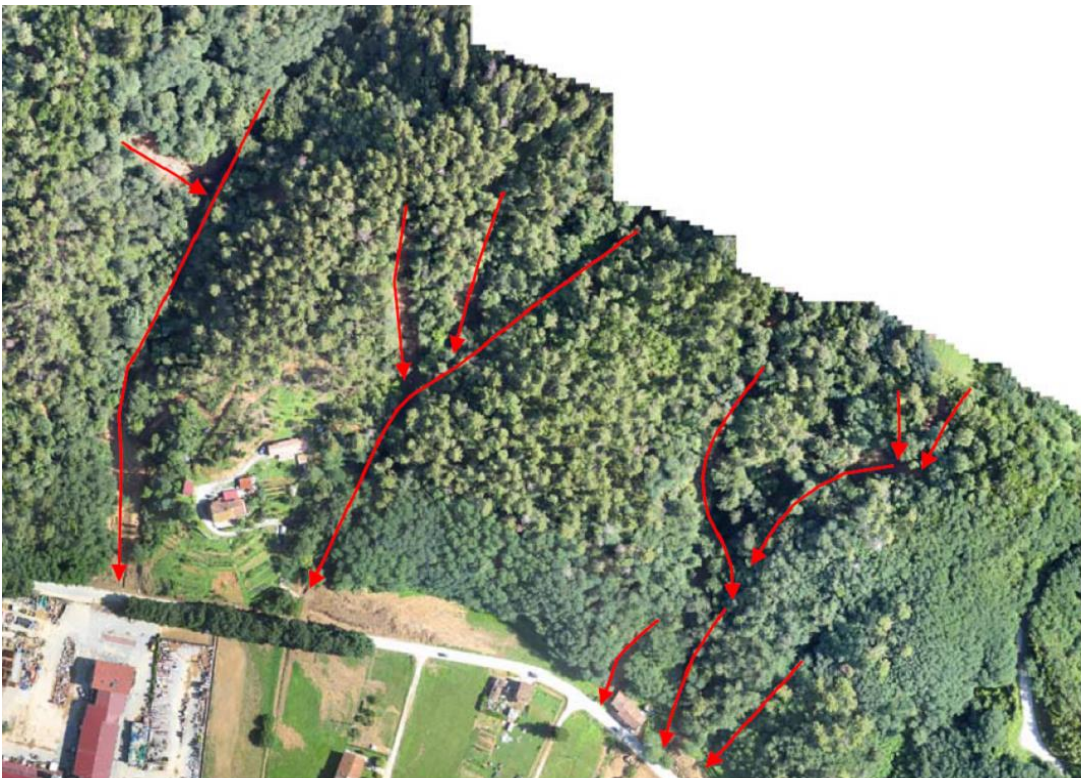


Figura 13 - 21 luglio 2014: S. Martino in Freddana (Pescaglia). Volo con drone Autorità di bacino del Fiume Serchio

I fenomeni di colata rapida di detrito a forte componente gravitativa (movimenti in massa), originate in concomitanza di precipitazioni brevi e di forte intensità, provocano movimenti franosi lungo i versanti dei bacini idrografici a monte dell'area di conoide che, incanalandosi lungo le aste torrentizie, si muovono con velocità elevata e, autoalimentandosi per l'innescò di frane lungo i versanti, raggiungono il fondovalle con effetti disastrosi nell'area di conoide, spesso antropizzata.

L'analisi della propensione delle aree di conoide ad essere soggette a fenomeni di sovralluvionamento e di *debris-flow* può essere realizzata valutando gli studi presenti nella letteratura tecnico-scientifica a riguardo, tra cui i più autorevoli riguardanti l'analisi quantitativa delle caratteristiche morfologiche e morfometriche dell'area di conoide e del bacino idrografico di monte comprensive di valutazioni sulla presenza di tombamenti, e antropizzazione.

L'analisi del trasporto solido torrentizio rappresenta una problematica fondamentale nella progettazione degli interventi di sistemazione d'alveo in bacini sia collinari che montani caratterizzati da eventi pluviometrici brevi ed intensi e ad elevata propensione al dissesto.

Aulitzky (1973, 1982) ha individuato le seguenti categorie di trasporto solido: *debris flow* (colata di detriti caratterizzata da un moto pulsante e gravitativo e da un fluido di tipo non-newtoniano), *debris flood* (flusso di massa ad alta concentrazione di detriti e con caratteristiche del fluido ancora di tipo newtoniano), *bedload* (trasporto di fondo per scorrimento del letto), *flood creek* (piena con basso potenziale di trasporto solido e prevalenza di sedimento fine).

Le variabili e i parametri che influenzano l'entità del fenomeno legato allo sviluppo e formazione delle conoidi detritico-alluvionali sono molteplici (D'Agostino, 1996; D'Agostino et alii, 1996): superficie del bacino, pendenza del collettore, forma di trasporto, geologia, pendenza della conoide, ecc.

Alcuni autori (Marchi et al. 1993; D'Agostino, 1996) individuano nella pendenza del conoide, abbinata ad un indice morfologico del bacino (Me: numero di Melton: Melton M. A., (1965): da Marchi et al. (1998), Marchi et al. (1996)), si è confermata un interessante indicatore sulla forma di trasporto dominante in un bacino idrografico: *debris flow/flood* o trasporto di fondo per scorrimento.

$$Me = \Delta H A^{(-0.5)}$$

ΔH : dislivello fra la quota massima e la quota minima del bacino;

A: la superficie del bacino stesso.

Nelle valutazioni da noi effettuate il numero di Melton è stato calcolato scegliendo come sezione di chiusura del bacino l'apice della conoide.

Alcuni ricercatori (Marchi et al., 1993) hanno evidenziato che la pendenza del conoide risulta influenzata soprattutto dalla tipologia dei processi deposizionali piuttosto che da altre variabili, ad es. caratteristiche litologiche del bacino. Per cui appartengono alla categoria dei bacini a rischio di *debris flow* e/o *debris flood* quelli caratterizzati da valori di Numero di Melton (Me) e pendenza del conoide (p espressa in gradi) tali da soddisfare la disequazione:

$$S > 7 - 14 Me$$

Ancora più semplicemente può utilizzarsi la relazione:

$$Me > 0.5$$

quando non sia presente o non sia morfologicamente ben definito il cono di deiezione.

La suddivisione delle forme di trasporto può essere realizzata anche in forma semplificata accorpendo i trasporti per debris flow e per debris flood e distinguendoli unicamente dal trasporto di fondo (*bedload*).

Baoyuan et al. (1994) in linea con le osservazioni di altri autori (Takahashi 1981, Yazawa e Mizuyama, 1987), individuano le pendenze d'alveo a maggior rischio di debris flow per valori superiori al 27%. A questa classe segue, con indice di rischio decrescente (debris flood), il campo di pendenze compreso fra il 27% ed il 14%.

Di più complessa determinazione risulta l'individuazione di un limite superiore di pendenza per il trasporto di fondo. Smart e Jaeggi (1983), nelle loro minuziose esperienze di laboratorio sulla capacità di trasporto, hanno osservato nella pendenza del 20% il limite inferiore di transizione fra il movimento di massa ed il trasporto di fondo, limite che si è innalzato al 25% con l'utilizzo delle granulometrie di sedimento più grossolane. Talvolta la suddivisione delle forme di trasporto avviene in modo semplificato accorpendo i trasporti per debris flow e per debris flood e distinguendoli unicamente dal trasporto di fondo (*bedload*).

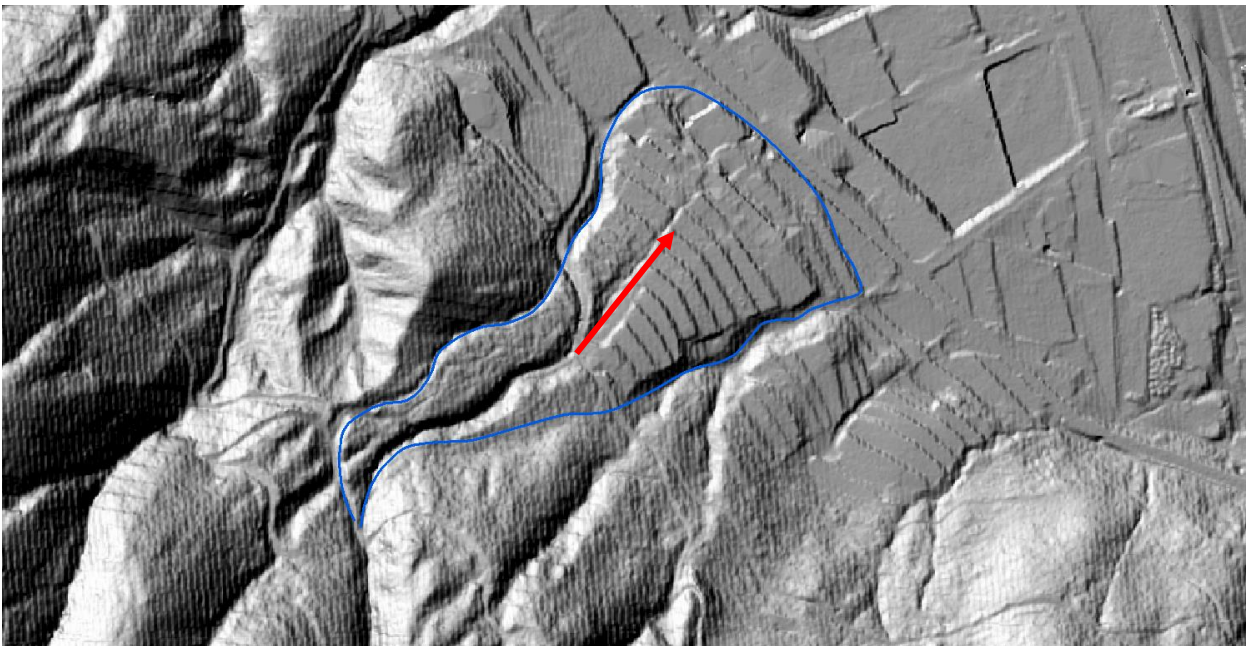


Figura 14 - Esempio di conoide detritico alluvionale in località Le Capanne, Galliciano (LU), in cui durante l'evento del 21 ottobre 2013 vi è stata riattivazione della porzione mediana del conoide con formazione di debris-flow

Secondo i principi finora esposti sono state studiate in questa ottica circa 90 conoidi alluvionali delle numerose cartografate nella "Carta della Franosità del Bacino del Fiume Serchio" e non ancora "conosciute" dal punto di vista delle variabili e dei parametri geologici-geomorfologici e idraulici che possono portare alla predisposizione alla formazione di fenomeni di trasporto in massa e colate di detrito rapide.

Di seguito, nella figura 8, si riporta sinteticamente il risultato dell'analisi svolta, utile nella valutazione della propensione del conoide alla formazione di trasporto detritico-alluvionale e debris-flow di vario grado di intensità e alla valutazione della pericolosità dell'area di conoide in riferimento ai fenomeni misti alluvionali-gravitativi di trasporto in massa e *debris-flow* sopradescritti.

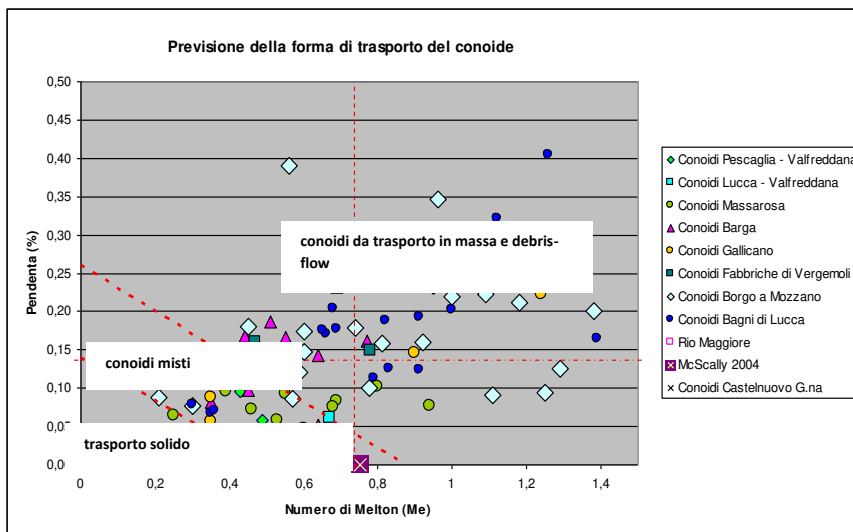


Figura 15 - Propensione dei conoidi alla formazione di trasporto e debris-flow

Bibliografia

- Aulitzky H. (1973). Vorläufige Wildbachgefährlichkeits-Klassifikation für Schwemmkegel, 100 Jahre Hochschule für Bodenkultur, Band IV, Teil 2, 81-113.
- Aulitzky H. (1982). Preliminary two-fold classification of torrents, *Mitteil. der Forst. Bundesversuchsanstalt, Wien*, Heft 144, 243-256.
- Baoyuan X., Lixian W., Zhong Z., Guosheng W. (1994). Torrent classification and mapping of hazard zones in mountain area of Beijing, *Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, Tokio, Japan, October*, 513-520.
- D'Agostino V. (1996). Scritti dedicati a Giovanni Tournon, Associazione Italiana di Ingegneria Agraria – Associazione Idrotecnica Italiana, Giugno 1996, pp.111- 123.
- D'Agostino V., Cerato M., Coali R. (1996). "Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino Orientale", *Atti del Convegno Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen, Band 1*, pp.377-386
- Mambretti S. (2007) – "Valutazione della magnitudo di colate detritiche in funzione del tempo di ritorno nel bacino di Val Gola (BG)" - *Geam. Geingegneria Ambientale E Mineraria*, vol. 44 n. 120 (aprile), pp. 15-24.
- Marchi L., Pasuto A., Tecca P.R. (1993). Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps, *Z. Geomorph. N. F.*, 37, 447-458.
- Marchi L. & Tecca P.R., (1999). Magnitudo delle colate detritiche nelle Alpi Orientali Italiane, Edizione GEAM, *Difesa del Suolo*, n°2-3, 1996, 79-86.
- Marchi L. & Brochot S. (2000). Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises, Edizione *Révue de Géographie Alpine*, n°3/2000, 23-28.
- Melton M.A. (1965). The geomorphic and paleoclimate significance of alluvial deposits in Southern Arizona, *Journal of Geology* 73, 1-38.
- Smart G.M., Jaeggi M.N.R. (1983). Sediment transport on steep slopes, *Mitt. Der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich*, 64, 1-191.
- Takahashy T. (1981) Debris flow, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, 13, 57-77.
- Yazawa A., Mizuyama T. (1987) Measures against debris flow on roads, Technical Memorandum of PWRI No. 2492, Sabo (Erosion Control) Division, Ministry of Construction, Tsukuba, Japan, 1-25.