



Analisi dei dissesti associati ad alcuni fenomeni di precipitazione intensa in Toscana attraverso l'analisi di immagini satellitari multi-spettrali

Guido Lavorini(*), Carlo Villoresi (*), Lorenzo Bottai (**), Massimo Perna (***), Francesco Manetti (**), Valerio Capecchi (***), Giulio Betti (***), Giorgio Bartolini (**), Alfonso Crisci (****), Manuela Corongiu (**)

(*) Regione Toscana, S.I.T.A., P.O. Geologia - Via di Novoli 26 - 50127 Firenze

(**) Consorzio LaMMA, Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto Fiorentino (Fi).

(***) Consorzio LaMMA, Via Madonna del Piano, 10 50019 Sesto Fiorentino (Fi) /CNR Ibimet, Via Giovanni Caproni, 8 - 50145 Firenze.

(****) CNR Ibimet, Via Giovanni Caproni, 8 - 50145 Firenze.

Introduzione ed obiettivi

Le frane superficiali associate alle precipitazioni intense sono particolarmente pericolose soprattutto a causa della loro estrema rapidità e della relativa imprevedibilità delle loro caratteristiche (Nicolet et al., 2013). A tutt'oggi esse restano uno dei fenomeni più gravosi in termini di danni arrecati alle persone, come ampiamente descritto nel Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni del CNR Irpi - Anno 2014, di recente pubblicazione (Gennaio 2015 - <http://polaris.irpi.cnr.it/wp-content/uploads/Report-annuale-2014.pdf>).

Nell'ambito delle attività svolte dal Sistema Informativo Territoriale e Ambientale P.O. Geologia e BD Geomatiche della Regione Toscana, in collaborazione con l'ente di ricerca LaMMA (Laboratorio Monitoraggio e Modellistica Ambientale), viene condotta una linea di ricerca volta all'analisi e alla valutazione dell'intensità e della localizzazione dei fenomeni di precipitazione intensa in Toscana, e della individuazione dei dissesti ad essi associati.

Lo studio ha come primo obiettivo quello di costituire dei dataset verificati e validati di frane superficiali associate ad eventi meteo intensi, con un duplice intento:

- 1) Acquisire dataset di dissesti correlabili con eventi di precipitazione, di fondamentale importanza per qualsiasi attività di modellistica legata alla franosità superficiale.
- 2) Integrare ed aggiornare i dati geologici regionali attualmente disponibili attraverso la creazione di un archivio di dissesti superficiali a cui è attribuita una informazione temporale.

Lo sviluppo delle attività ha condotto il Consorzio LaMMA, data la sua pluridecennale esperienza in ambito meteorologico, ad approfondire, su indicazione della Regione Toscana, l'analisi sia con metodi euristici che statistici dei fenomeni meteo intensi accaduti nel recente passato. L'attività, fino ad ora concentrata nell'area Garfagnana-Lunigiana, viene svolta attraverso due fasi principali:

- a) Analisi statistico/euristica dei dati pluviometrici per l'individuazione temporale e spaziale di eventi di precipitazione intensa.
- b) Analisi di una coppia di immagini satellitari ad alta risoluzione spaziale pre/post evento per l'individuazione semiautomatica di dissesti associati all'evento di precipitazione intensa.

Fase a - L'analisi statistico/euristica delle precipitazioni

L'individuazione dei fenomeni di precipitazione intensa è stata dapprima condotta in collaborazione con i previsori meteo, attraverso una prima analisi a carattere euristico secondo il loro "giudizio esperto" basato sulla loro lunga esperienza di previsione meteorologica per la Toscana. Successivamente tali scelte sono state confrontate e confermate da un'analisi statistica condotta sulle serie di

misure pluviometriche disponibili.

In particolare sono state raccolte le serie storiche (1980-2012) per le stazioni gestite dal Consorzio LaMMA e dal Centro Funzionale della Regione Toscana, più alcune stazioni delle regioni limitrofe all'area in esame (Liguria ed Emilia Romagna), delle quali solo 47 presentavano serie sufficientemente complete (dati orari di precipitazione). Su tali dati si sono eseguite delle analisi di tipo statistico estrema.

In particolare si è eseguita l'analisi degli eventi estremi attraverso lo studio della legge generale degli eventi estremi GEV (Generalized Extreme Values) sulle serie delle stazioni maggiormente significative per le aree di interesse.

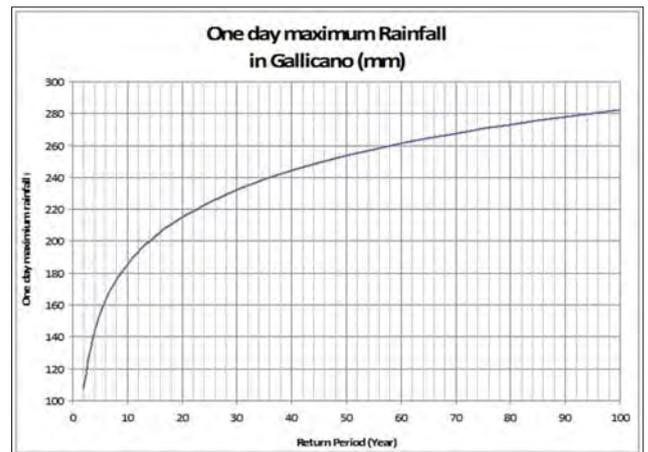


Fig. 1
Curva dei tempi di ritorno derivati dalla GEV sulle piogge giornaliere del periodo 1996/2012 per la stazione di Galliciano

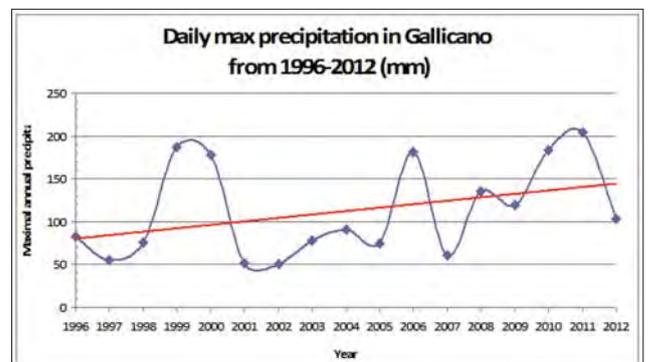


Fig. 2
Massimi annuali di pioggia del periodo 1996/2012. Stazione di Galliciano



I valori di pioggia indicati dall'analisi della GEV mostrano tempi di ritorno relativamente bassi per piogge di notevole entità. Inoltre l'andamento dei massimi annuali di pioggia giornaliera nel periodo 1996/2012 sembrano indicare una tendenza di crescita poco significativa. L'analisi statistica sostanzialmente conferma gli eventi selezionati su base euristica come quelli di maggior rilievo nelle serie pluviometriche della zona.

Va sottolineato inoltre che la variabilità morfologica dell'area, con cambi di condizioni ambientali ed orografiche molto repentini, rende assai complessa l'analisi delle precipitazioni di evento su base spaziale. Ad esempio, dal confronto con i dati plottati del tempo di ritorno e i valori delle piogge cumulate di evento rilevate per le stazioni di Galliciano e Massa (che distano tra loro poco più di 40 Km) per 4 eventi del 2010 individuati su base euristica, si nota come mentre gli eventi del 4 ottobre e del 10 giugno a causa della loro evoluzione spaziale hanno condotto a precipitazioni molto diverse nelle due stazioni, l'evento del 31 ottobre,

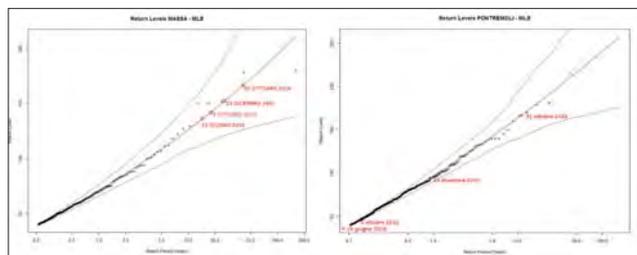


Fig.3
Eventi individuati nell'anno 2010 confrontati con i tempi di ritorno (return period) delle stazioni di Massa e Pontremoli

pur avendo cumulata paragonabile, presenta un tempo di ritorno nelle due stazioni estremamente diverso (10 anni per Pontremoli, quasi 50 per Massa).

Tutto ciò per indicare come la pioggia di evento, ovvero l'agente innescante delle frane superficiali, sia un fenomeno estremamente diversificato e con tempi di ritorno molto diversi anche in aree relativamente vicine. In questo senso ogni informazione derivata dalla spazializzazione del dato di pioggia, compresi quelli mostrati nel presente lavoro, va trattata con estrema cautela onde evitare di trarre conclusioni non corrette.

Al momento l'analisi ha permesso di evidenziare 45 eventi di precipitazione intensa distribuiti in tutto il territorio regionale dal 2008 al 2014:

| anno | num. eventi |
|---------------|-------------|
| 2008 | 6 |
| 2009 | 7 |
| 2010 | 9 |
| 2011 | 4 |
| 2012 | 5 |
| 2013 | 10 |
| 2014 | 4 |
| totale | 45 |

Tabella 1 – Numero di eventi di precipitazione intensa selezionati

Fase a- Analisi delle immagini satellitari pre-post evento di precipitazione intensa

Nel corso del primo anno di attività si è analizzato l'evento del 24-25/10/2011 in Lunigiana, attraverso due subset di scene satellitari RapidEye (sensore multispettrale, 5 bande ad alta risoluzione, dimensione del pixel a terra pari a 5 m). Le attività di pre-processing hanno consentito la georeferenziazione, l'ortorettifica, la co-registrazione e la correzione radiometrica. Successivamente si è realizzata una prima attività di fotointerpretazione a video che ha permesso di individuare le aree maggiormente interessate dai fenomeni franosi.



Fig.4
Immagine RapidEye pre-evento (13/10/2011)



Fig.5
Immagine RapidEye post-evento (29/10/2011)

Tale attività ha consentito di individuare in prima battuta le aree di maggiore cambiamento pre-post evento e si è avvalsa delle caratteristiche multispettrali delle immagini sfruttando le potenzialità di indagine delle 5 bande del Rapid-Eye. La foto interpretazione ha inoltre utilizzato come dato ancillare le ortofoto regionali del 2011 le quali, grazie all'elevata risoluzione spaziale, hanno consentito un rapido riconoscimento della tipologia di uso del suolo delle aree indagate e una individuazione delle aree maggiormente denudate.

Per le analisi successive è stato realizzato un layer stack multitemporale di 10 bande composto dalle 5 bande dell'immagine pre-evento e dalle 5 bande dell'immagine post-evento su cui sono state eseguite delle tecniche per l'individuazione delle aree soggette a cambiamento attraverso diversi indici (spectral angle, NDVI differencing, principal components analysis, independent components analysis). La determinazione dell'angolo spettrale dell'immagine (Spectral Angle, Fig.6) è una tecnica alternativa per la determinazione del cambiamento multi-temporale (bi-temporale in questo

caso) su base pixel-per-pixel. L'angolo spettrale è determinato dai vettori che rappresentano i valori di radianza dei singoli pixel nel pre e nel post-evento aventi le stesse coordinate geografiche nelle immagini.

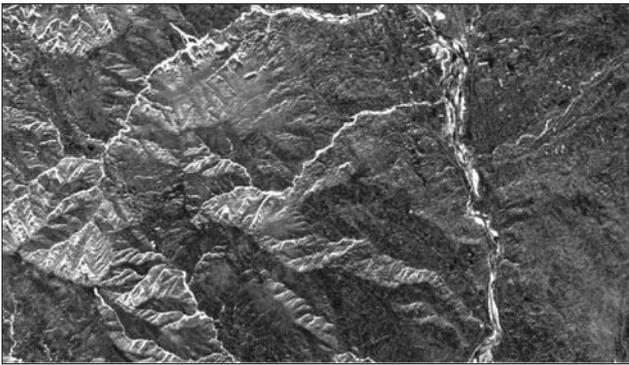


Fig.6 - Angolo spettrale (Spectral angle)

L'indice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) viene utilizzato per monitorare da remoto le condizioni della vegetazione, ma anche per discriminare, come nel caso di questo studio, le aree denudate da quelle vegetate. Il metodo di change detection comunemente utilizzato utilizza la differenza tra l'NDVI dell'immagine post-evento e quello dell'immagine pre-evento (Δ NDVI, Fig.7).

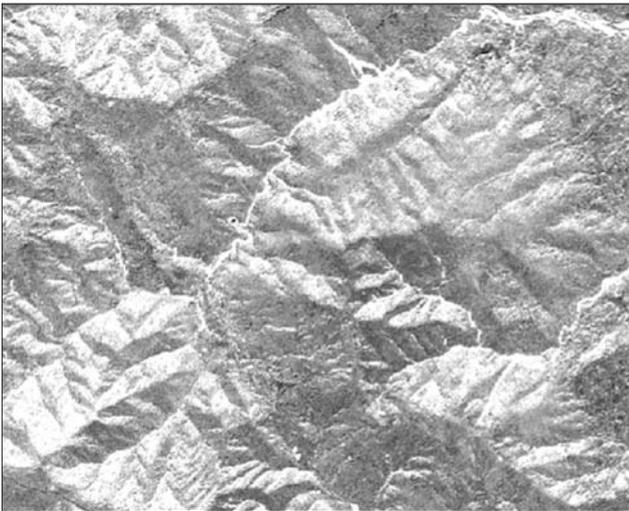


Fig.7 - Δ NDVI

L'analisi in componenti principali o PCA, dall'inglese principal component analysis, è una tecnica per la semplificazione dei dati utilizzata nell'ambito della statistica multi-variata. Sullo stack multi-temporale è stata condotta l'analisi delle componenti principale, ottenendo 10 nuove bande (10 nuove variabili). La componente n.5 è risultata essere la più rappresentativa in termini di informazioni sui dissesti (Fig.8).



Fig.8 - Componenti principali - 5° componente.

Oltre alla tecnica delle componenti principali si è testata anche quella delle componenti indipendenti, ICA (Independent Component Analysis). Tale tecnica è analoga alla precedente ma consente di valutare i dati attraverso una combinazione lineare delle bande dello stack multi-temporale che massimizzi l'indipendenza delle componenti originali (Mondini et al., 2011, Fig.9). L'analisi delle componenti indipendenti ha mostrato, a differenza di quanto successo nelle componenti principali, una netta differenza (nel caso della terza componente) tra i valori assunti dalle aree in frana rispetto alle aree esondate, cosa che ha permesso di evidenziare meglio il carattere spettrale dei fenomeni franosi.

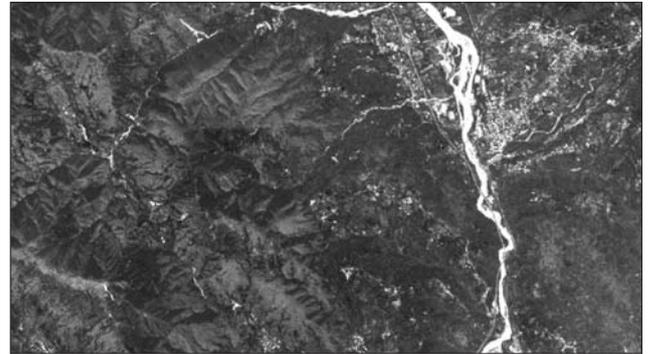


Fig.9 - Componenti Indipendenti - 3° componente

L'analisi di tali indici ha condotto all'individuazione di 90 clusters di pixel delle immagini associabili a fenomeni franosi. Le verifiche, eseguite attraverso sopralluoghi e con foto aeree, hanno condotto al momento alla conferma di 46 fenomeni franosi legati all'evento.

La distribuzione delle frane superficiali in base alla tipologia di substrato mostra una netta prevalenza dei fenomeni franosi sulla formazione del "Macigno" auctt., che affiora più estesamente nella zona maggiormente colpita dall'evento meteo.

Inoltre 22 dissesti superficiali si sono attivati in corrispondenza di coperture o di frane esistenti.

Tale rilevazione è stata eseguita attraverso il confronto con il livello delle coperture del Continuo Geologico Regionale scala 1:10.000.

Solo in alcuni di questi casi si può parlare di riattivazioni del movimento preesistente; molto spesso le frane superficiali rilevate sono nettamente distinte dalle dinamiche e dai processi che hanno i movimenti precedenti, e mostrano evidenti segni dell'innescò legato all'evento meteorico intenso. Tuttavia anche questa semplice analisi mostra che il numero significativo (circa $\frac{1}{2}$ dei dissesti totali) di dissesti interessa terreni di copertura, confermando che esiste una relazione rilevante tra le frane superficiali e le coperture geologiche s.l. (a partire dai livelli maggiormente alterati di substrato - regolite - agli accumuli di depositi eluvio-colluviali ai depositi di frana).

Tale rapporto merita di certo di essere ulteriormente indagato, in particolare in queste aree così frequentemente colpite da eventi di precipitazione intensa; in tal senso l'attività del progetto regionale sulla caratterizzazione geologico-tecnica delle formazioni superficiali, promossa dallo stesso Sistema Informativo Territoriale e Ambientale e condotta dal Consorzio LaMMA in collaborazione con l'Università degli Studi di Siena, potrà fornire dati utili per un approfondimento delle conoscenze sulle dinamiche di questi processi.

Di seguito è possibile osservare alcuni esempi di dissesti superficiali connessi con l'evento e rilevati attraverso le diverse tecniche sopra descritte.

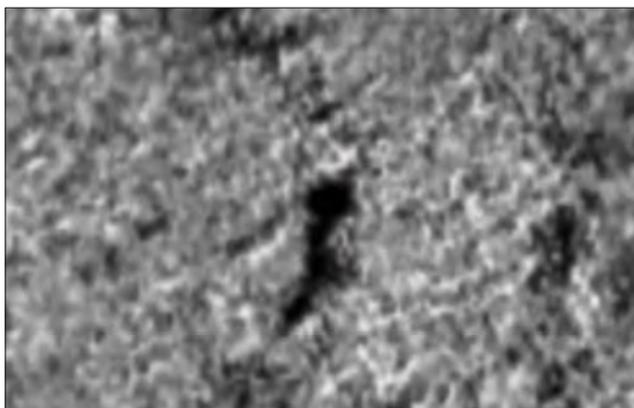


Fig.10 - Frana superficiale in prossimità dell'abitato di Villetchia di Tresana così come evidenziata attraverso l'indice _ NDVI



Fig.14 - Immagine relativa al Canale di Borra Grande prima dell'evento franoso (da Streetview)



Fig.11 - Immagine dell'area relativa alla frana di Villetchia di Tresana prima dell'evento (da Streetview)

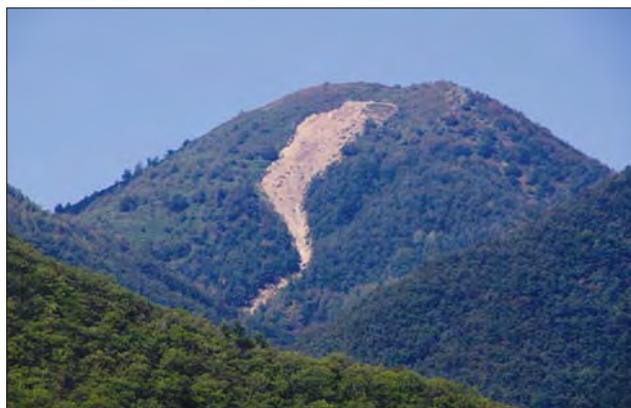


Fig.15 - Immagine relativa alla frana del Canale di Borra Grande post-evento



Fig.12 - Immagine della stessa area dopo l'evento

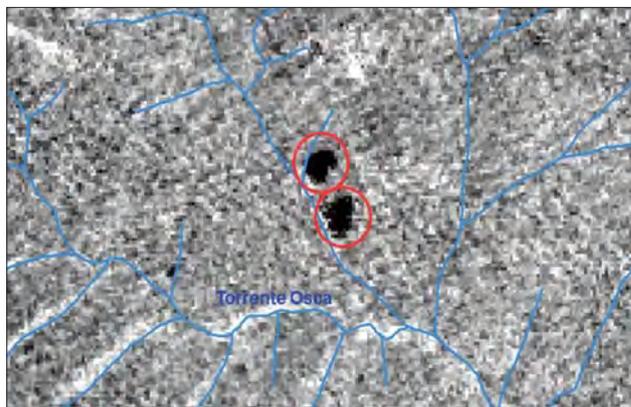


Fig.16 - Immagine relativa alle frane superficiali occorse in prossimità del Torrente Osca, nell'immagine della 3° componente ICA (Componenti Indipendenti)



Fig.13 - Frana superficiale al confine tra Toscana e Liguria (Canale di Borra Grande), visualizzata nell'immagine RapidEye post evento a colori naturali



Fig.17 Le frane superficiali in prossimità del Torrente Osca, in una foto post-evento. La denudazione della vegetazione è il carattere di maggior utilità nell'individuazione semiautomatica delle frane superficiali attraverso immagini satellitari ottiche.