

Uso integrato di dati telerilevati e acquisiti in sito per lo studio di fenomeni franosi in un bacino attraversato dalla rete viaria

Marina Dipalma Lagreca (*), Caterina Lamanna (**), Domenico Casarano (***)

(*) Università degli Studi di Bari “Aldo Moro” Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali - Indirizzo Geomorfologia e Dinamica Ambientale, Via Orabona, 4, 70125 BARI, marina.dipalmalagreca@uniba.it,

(**) c/o CNR-IRPI Bari, Via Amendola, 122 I, 70126 BARI, cate.lama@tiscali.it,

(***) CNR-IRPI Bari, Via Amendola, 122 I, 70126 BARI, d.casarano@ba.irpi.cnr.it.

Nell’ambito di un progetto di ricerca di dottorato in Geomorfologia e Dinamica Ambientale, in itinere, si sta studiando la franosità in un bacino del Subappennino Dauno (sito nel territorio comunale di Rocchetta Sant’Antonio, FG) attraversato da una strada provinciale particolarmente interessata dai dissesti.

Nel lavoro si è studiata l’evoluzione della franosità in relazione a fattori come l’uso del suolo e le caratteristiche idrogeologiche dei versanti. I data-set sono stati acquisiti con tecniche differenti quali: i) l’interpretazione di foto aeree storiche (cartacee) e recenti (digitali) e di immagini satellitari ad alta risoluzione per la realizzazione di carte inventario multi-temporali di frane, di uso del suolo e di “zone umide” (aree caratterizzate da un cattivo drenaggio, ristagni d’acqua, ruscellamento diffuso); ii) il monitoraggio piezometrico in sito; iii) l’analisi di dati pluviometrici acquisiti da stazioni meteo della Regione Puglia.

Abstract

This study is a part of an ongoing PhD in Geomorphology and Environmental Dynamics. It focuses on landsliding in an area of Subappennino dauno (in the municipality of Rocchetta Sant’Antonio, Province of Foggia, Apulia region) in which there is a road affected by landslides.

In this work, land-use and hydrogeology are analysed to understand slope evolution and landsliding historical trends; different techniques were used to obtain the data-set: i) interpretation of historic (paper) and recent (digital) air-photo and of high resolution satellite images to obtain multi-temporal maps of landsliding, land-use and “wet-area” (poor-drain area, free surface-water and widespread surface runoff); ii) *in situ* piezometric monitoring; iii) rainfall data analysis using Regione Puglia data.

1. Introduzione

Il Subappennino dauno (Puglia nord-occidentale) è interessato da numerosi e talora estesi movimenti di massa che interessano aree urbane e peri-urbane. Inoltre i movimenti di massa avvenuti lontano dalle aree urbane hanno reso impraticabili molte strade ed hanno determinato perdite delle colture e danni alle case rurali. Tali eventi hanno ravvivato l’attenzione sulla stabilità dei versanti tra le autorità locali e nazionali e tra i ricercatori (Lamanna et al., 2009a).

Il bacino di studio, che corrisponde ad un’area di circa 16 km² in cui ricade un tratto della strada provinciale 99bis che collega l’abitato di Rocchetta Sant’Antonio allo scalo ferroviario, risulta interessato da dissesti diffusi e spesso estesi. Si tratta di un’area caratterizzata da rilievi collinari, con quote comprese tra circa 210 m e 770 m sul livello del mare, con pendenza media di circa 10° e litologia costituita prevalentemente da argille.

È risaputo che le variazioni di uso del suolo possono influenzare la stabilità dei pendii su scala locale e regionale (e.g. Slide et al., 1985; Wasowski, 1998; Glade, 2003; Slide e Ochiai, 2006),

inoltre anche la variazione del bilancio idrico del suolo (*infiltration rate*) può essere considerata un fattore critico per la stabilità dei pendii (e.g. Ray et al., 2010).

In una zona più estesa, includente il bacino di studio, si era già osservato (e.g. Wasowski et al., 2010) che la variazione di uso del suolo, studiata tra il 1976 e il 2006, era causa di un aumento dell'instabilità dei versanti.

Nell'area in esame, studi pregressi di integrazione di dati di monitoraggio piezometrico con aree umide mappate in superficie da immagini telerilevate hanno mostrato che le zone umide osservabili in superficie possono essere indicative di livelli piezometrici alti e quindi di aree suscettibili alla franosità (e.g. Wasowski et al., 2012, 2013).

In questo studio è stato valutato come la variazione di uso del suolo ha influenzato i dissesti in un arco temporale esteso dal 1956 al 2011, inoltre è stata osservata la ricorrenza delle zone umide sui versanti interessati dai fenomeni franosi. Questo lavoro rientra nell'ambito di un progetto di dottorato in cui si sta studiando come la variazione di uso del suolo e le precipitazioni caratterizzano la franosità influenzando la variazione delle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei suoli.

2.1 Materiali e metodi

I data set e le informazioni utilizzati nel presente lavoro sono:

- stereogrammi ricavati da fotografie aeree cartacee in bianco e nero del 1955 e 1976 in scala, rispettivamente, 1:35.000 e 1:27.000;
- ortofoto digitali a colori del 2006 (disponibili tramite servizio WMS del Portale Cartografico Nazionale) in scala 1:10.000 e risoluzione di 0.5 m;
- ortofoto digitali a colori e infrarosso del 2011 in scala 1:10.000 e risoluzione di 0.5 m;
- immagine multispettrale del satellite IKONOS-2 del 2006, con risoluzione di 1 m in modalità pancromatica e risoluzione di 4 m in modalità multispettrale;
- DEM a 5 m;
- dati piezometrici acquisiti in sito, mediante l'utilizzo di piezometri Casagrande;
- dati pluviometrici acquisiti da stazioni meteo della Protezione Civile della Regione Puglia.

Mediante l'interpretazione e l'elaborazione dei dati telerilevati sono state realizzate le carte inventario multi-temporali dei dissesti franosi, dell'uso del suolo e delle zone umide. L'intera base dati è stata inserita ed elaborata in ambiente GIS.

Per uno studio più dettagliato delle cause innescanti i dissesti franosi, i dati relativi alla variazione temporale dei livelli piezometrici sono stati confrontati con i dati pluviometrici giornalieri.

2.2 Interpretazione ed elaborazione di dati telerilevati

Le frane e l'uso del suolo del 1955 e 1976 sono stati interpretati e mappati mediante la visione stereoscopica delle foto aeree cartacee. Le carte così ottenute sono state inserite in ambiente GIS e georeferenziate per permettere il confronto con le carte del 2006 e 2011. Queste ultime sono state ottenute mediante l'osservazione *on-screen* delle immagini e la digitalizzazione, in ambiente GIS, delle frane e dell'uso del suolo.

Le frane del 2006 sono state mappate osservando l'immagine IKONOS in colori naturali, ortorettificata e *pan-sharpened*, ad 1 m di risoluzione, visualizzata in tre dimensioni mediante la sovrapposizione al DEM; mentre la carta dell'uso del suolo è stata ottenuta osservando le ortofoto e digitalizzando le classi di uso del suolo in ambiente GIS.

Le carte delle zone umide sono state ricavate per gli anni 2006 e 2011 osservando a colori naturali e ad infrarosso rispettivamente l'immagine IKONOS, ortorettificata e *pan-sharpened*, e le ortofoto. Le zone umide di interesse per questo studio corrispondono ad aree in cui l'acqua ristagna o in cui il suolo appare bagnato.

2.2.1 Frane

Utilizzando immagini con scale eterogenee e metodologie di indagine differenti, il riconoscimento dei movimenti franosi si è basato principalmente sulle caratteristiche geomorfologiche evidenti

nella visione stereoscopica per gli anni 1955 e 1976, mentre per gli anni 2006 e 2011, non essendo disponibile il dato stereoscopico, il riconoscimento è stato agevolato da rotture e/o alterazioni nella continuità degli aspetti legati all'uso del suolo. Inoltre, le foto/immagini satellitari degli anni più recenti, essendo a scala più grande hanno permesso una migliore osservazione dei dettagli e il riconoscimento di frane con dimensioni inferiori rispetto a quelle riconoscibili su immagini a scala più piccola del 1955 e del 1976.

In particolare, sono state realizzate le mappe delle frane attive (Fig1), dove nel presente lavoro intendiamo per frana attiva una frana che si è mossa l'ultima volta entro l'ultimo ciclo stagionale o al massimo nel corso del penultimo (Lamanna et al., 2009b).

2.2.2 Uso del suolo

Per la realizzazione della carta dell'uso del suolo sono state considerate e quindi distinte, durante la fotointerpretazione, quattro principali classi: alberi, erba-pascolo, seminativi e altro (Fig. 1).

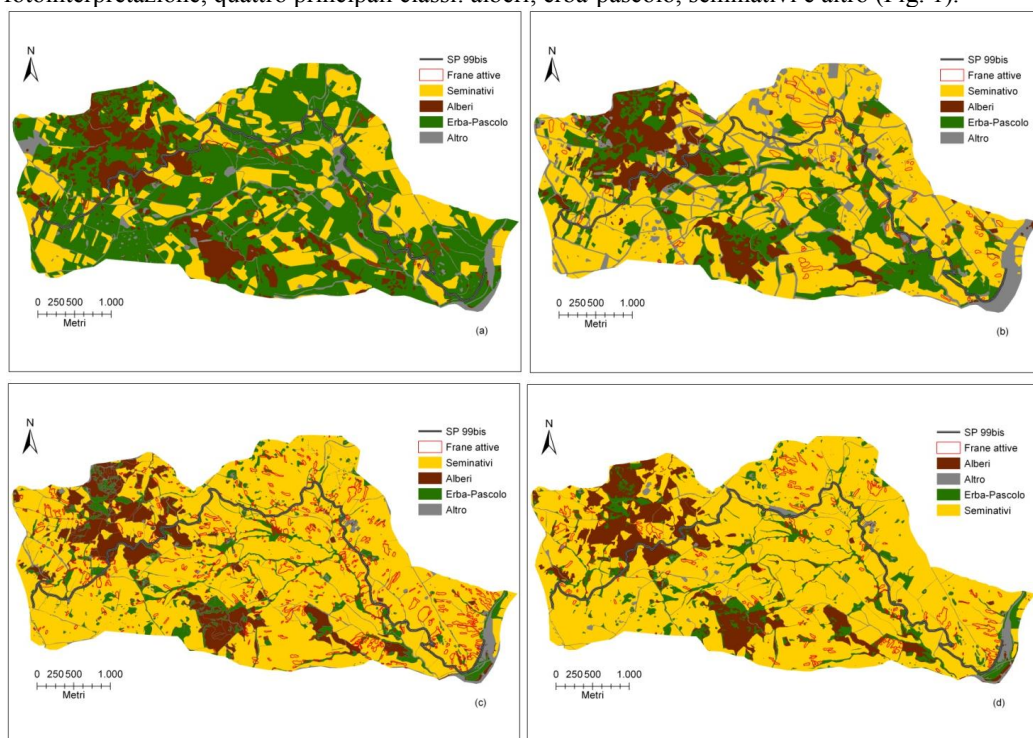


Figura 1 - Frane attive sovrapposte all'uso del suolo per gli anni studiati: (a)1955, (b) 1976, (c) 2006 e (d) 2011.

La scelta delle classi è stata dettata dai principali tipi di copertura presenti nell'area di studio e dalle caratteristiche che sono state ritenute essere i fattori di controllo per l'attività franosa, tenendo conto che il grado di stabilità determinato dalla vegetazione decresce nel seguente ordine: alberi, macchia, erba e suolo nudo (Coppin e Richards, 1990).

Per quanto riguarda la distinzione dell'uso del suolo sono stati utilizzati i seguenti elementi distintivi:

- seminativi: riconoscibili per il tipico pattern geometrico dovuto alla forma poligonale degli appezzamenti di terreno. In particolare è stato possibile osservare le "tracce" dell'aratura o della mietitura o la presenza di covoni (anni '50). In stereoscopia si è potuta osservare l'assenza di rilievo

o comunque la presenza di ondulazioni meno pronunciate poiché attenuate dalla lavorazione dei terreni con le macchine agricole.

- alberi: gli alberi ad alto fusto sono facilmente visibili nella visione stereoscopica. Le zone arbustive (macchia), invece, si sono riconosciute grazie al forte ingrandimento per il rilievo che presentano. Nelle immagini a colori il riconoscimento è stato facilitato dal tipico colore verde degli alberi. In alcuni casi è stato possibile individuare anche la loro ombra proiettata sul terreno. Nel caso dei frutteti un altro elemento distintivo è stato la presenza di filari.

- erba-pascolo: pur presentando caratteri simili ai seminativi, si distinguono per i limiti dei campi non regolari, l'assenza delle "tracce" lasciate dalle macchine agricole, l'andamento topografico più irregolare e spesso per la presenza di cespugli.

- altro: aree non ricadenti nelle classi precedenti, e perlopiù caratterizzate dalla presenza di strutture antropiche.

Le mappe mostrano come l'uso del suolo sia fortemente mutato nel periodo considerato. Nel 1955 erba e pascolo erano predominanti, mentre il seminativo copriva circa il 28% dell'area di studio. Nel 1976 la percentuale di seminativo era salita a circa il 53%, e nel 2006-2011 si assestava su valori prossimi al 75%. L'estensione delle coltivazioni cerealicole a partire dal 1976 è avvenuta anche in seguito all'erogazione da parte dell'UE di incentivi alla coltivazione del grano duro (Wasowski et al., 2010).

2.2.3 Zone umide

In questo lavoro si definiscono come "zone umide" le aree in cui sono presenti ristagni d'acqua o il terreno risulta bagnato. Per il riconoscimento di tali zone, l'area è stata osservata utilizzando l'immagine a colori naturali e l'immagine nel vicino infrarosso (NIR) in quanto la frequenza corrispondente al NIR viene riflessa dalla vegetazione e assorbita dall'acqua.

Le mappe delle zone umide sono state prodotte per gli anni 2006 e 2011 ed è stata considerata un'area ristretta (di circa 5.6 km²) che si estende nei dintorni della strada all'interno del bacino di studio. All'interno di tale area è stata installata una rete di piezometri per il monitoraggio dei livelli di falda in corrispondenza o nelle vicinanze di frane che interessano il tratto stradale.

Per la realizzazione della carta del 2006 è stata utilizzata l'immagine IKONOS *pan-sharpened* a risoluzione di 1 m in quanto, avendo le aree umide dimensioni modeste (talora inferiori ai 4 m), non era sempre possibile riconoscerle utilizzando le bande con risoluzione maggiore.

Le aree sono state individuate in quanto mediamente più scure delle aree adiacenti. La delimitazione di tali aree è stata complessa per il 2011 in quanto difficilmente si notavano limiti netti di contrasto del colore, per la presenza di aree con grado di umidità variabile gradualmente tra la zona centrale e quella esterna.

3. Risultati

Le carte multitemporali ottenute sono state inserite in ambiente GIS dove sono state confrontate ed analizzate al fine di valutare l'influenza tra i fattori ambientali e la franosità. I risultati ottenuti in ambiente GIS sono quindi stati confrontati con i dati pluviometrici e piezometrici per verificare l'influenza delle precipitazioni sugli eventi franosi.

3.1 Franosità e variazione dell'uso del suolo

Dalle carte della franosità attiva, in ambiente GIS, sono stati calcolati il numero di frane mappate, la frequenza areale (percentuale dell'area in frana rispetto all'area del bacino di studio) e la densità areale (numero di frane su km²) (Tab. 2). Considerando l'eterogeneità delle scale e delle metodologie utilizzate, sulle immagini con scala più piccola, piccole frane vicine tra loro sono interpretate come un'unica frana di maggiori dimensioni, sottostimando così il numero delle frane.

Frane Attive	N.ro	%	N.ro/km ²
1955	50	1.53	3.28
1976	96	2.49	6.29
2006	921	5.60	60.33
2011	194	2.73	12.71

Tabella 2. Frane attive negli anni considerati; sono riportati il numero di frane mappate (N.ro), la frequenza areale (%) e la densità areale (N.ro/km²).

Le frane mappate sono quindi state intersecate con le mappe della variazione di uso del suolo, queste ultime ottenute in ambiente GIS dalle elaborazioni delle carte dell'uso del suolo.

Le aree in frana sono state intersecate sia con le nuove aree adibite a seminativo nel corso degli anni (nuovo seminativo) che con aree già in precedenza adibite a questo uso (vecchio seminativo). Sono state quindi calcolate le frequenze areali nel bacino e successivamente i valori ottenuti sono stati normalizzati rispetto alle frequenze medie, alla stessa data, della franosità nell'intero bacino, per eliminare la variazione della franosità dovuta ad altri parametri che possono incidere sulla frequenza dei dissesti, come la piovosità.

Dai grafici (Fig. 3) risulta che mentre sul nuovo seminativo la franosità tende ad aumentare, nelle aree corrispondenti al vecchio seminativo (inteso come porzione dell'area di studio già coltivata nel 1955 e rimasta tale alle date successive) la franosità sembra diminuire.

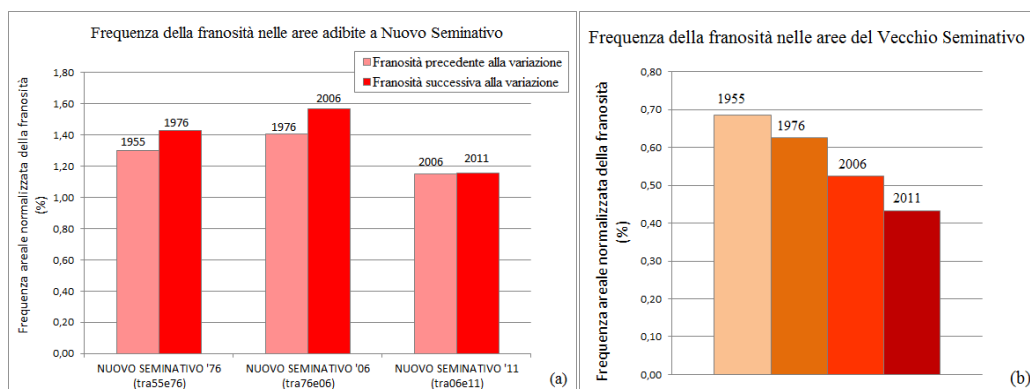


Figura 3. Frequenza areale delle frane attive sui nuovi seminativi (a) e sul vecchio seminativo (b).

L'aumento di franosità sui nuovi seminativi è evidente soprattutto tra il 1955 e il 1976 e tra il 1976 e il 2006, intervalli temporali più lunghi rispetto al periodo 2006-2011 in cui la differenza, pur presente, risulta meno evidente. Va comunque considerato che fino al 2006 vi è stato un notevole incremento dell'estensione degli stessi seminativi, mentre le nuove coltivazioni del 2011 riguardano aree marginali e scarsamente significative dal punto di vista statistico. I dati relativi all'andamento generale delle frequenze areali sui nuovi seminativi possono essere confrontati con le pendenze medie (ottenute da elaborazioni del DEM in ambiente GIS) dei versanti su cui si estendono queste aree. Si osserva che il "nuovo seminativo" del 2006, comprendente le aree adibite a seminativo solo dopo il 1976, presenta pendenze mediamente maggiori: se nel 1955 solo il 17% del seminativo aveva pendenza superiore ai 10°, tale percentuale saliva al 30% per i "nuovi seminativi" del 1976, e quasi al 38% per il nuovo seminativo del 2006, il 6% del quale si estendeva su pendenze oltre i 15°, praticamente assenti nelle aree coltivate in precedenza. Le frequenze areali più alte sul nuovo seminativo del 2006 possono quindi trovare risposta nel grado di pendenza di queste aree che influenza la suscettibilità a franare dei pendii. Tali aree, tra l'altro, mostravano già prima di essere

coltivate un'incidenza di frane attive superiore alla media, lasciando supporre che, in coincidenza con gli incentivi alla coltivazione del grano duro ed all'evoluzione delle tecniche agricole, vi sia stata un'estensione dei seminativi su pendii più ripidi e già in origine meno stabili.

3.2 Zone umide, precipitazioni, livelli piezometrici e franosità

Dalle carte ottenute si nota che le zone umide del 2006 e del 2011 si presentano nella maggior parte dei casi nelle stesse aree (Fig. 4).

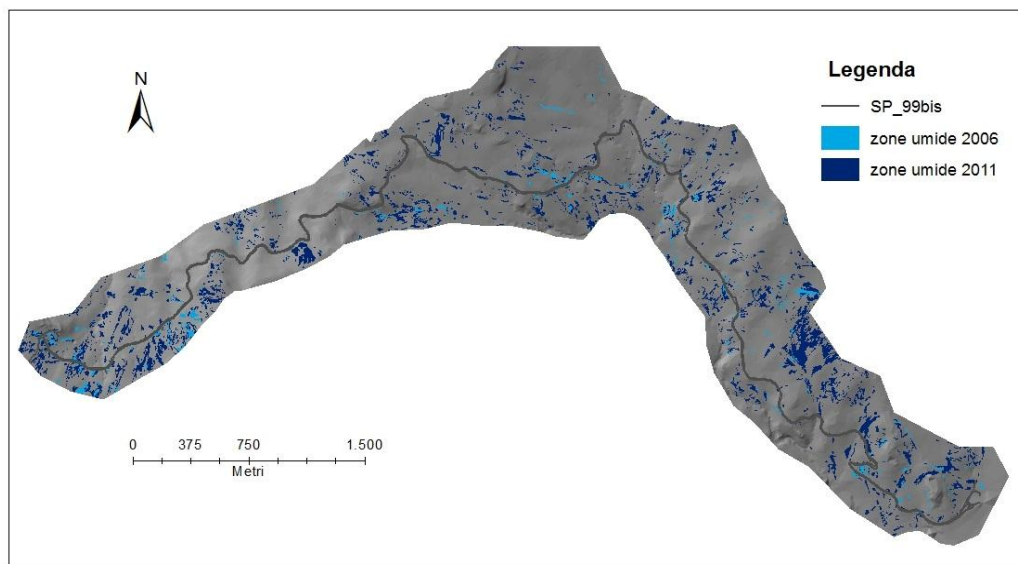


Figura 4. Sovrapposizione delle mappe delle zone umide del 2006 e del 2011.

Inoltre, nella mappa è evidente la maggior presenza di zone umide nel 2011. Questa può essere spiegata con l'analisi dei dati pluviometrici. Considerando un arco temporale pari a 30 giorni, precedente l'acquisizione delle immagini, dai dati pluviometrici acquisiti risulta che le precipitazioni nel 2011 sono state pari a circa 154 mm mentre nel 2006 pari a circa 98 mm e considerando 15 giorni precedenti l'acquisizione sono stati registrati circa 88 mm di pioggia per il 2011 e solo 2 mm per il 2006. Questi dati spiegano la differente estensione delle aree umide nei due anni considerati.

I dati pluviometrici sono anche stati correlati con i dati piezometrici. Si nota (Fig. 5) che l'andamento di ricarica della falda è collegato alla piovosità, in particolare il livello piezometrico tende a risalire nella seconda parte dell'autunno e durante il periodo invernale. Naturalmente l'aumento del grado di saturazione del terreno comporta un aumento della pressione interstiziale che influisce negativamente sulla stabilità dei pendii.

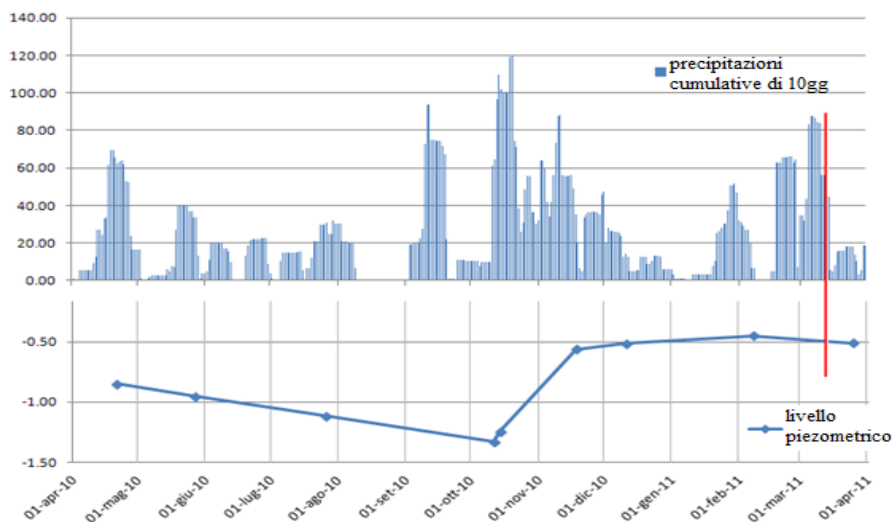


Figura 5. Andamento delle precipitazioni (cumulate su 10 giorni) e andamento del livello piezometrico in uno dei piezometri installati nell'area di studio. La linea rossa indica la data di acquisizione delle foto aeree del 2011.

Inoltre quando il valore del livello piezometrico è alto (vicino alla superficie), se le caratteristiche litologiche lo permettono, ci si aspetta la presenza di zone umide nelle vicinanze. Ciò è stato osservato in uno studio focalizzato sui possibili legami tra le zone umide che possono essere osservate in superficie e la variazione del livello piezometrico (Wasowski et al., 2012).

Dal confronto tra le mappe delle zone umide e della franosità si è infatti osservato che in alcuni casi le frane si riattivano in aree caratterizzate dalla presenza o vicinanza di zone umide.

4 Conclusioni

Lo studio multi-temporale di vari fattori su un arco temporale esteso 55 anni non può esimersi dall'utilizzo di dati di varia origine, aventi formati eterogenei e metodologie di investigazione differenti. L'utilizzo del software GIS è stato rilevante per l'archiviazione, la visualizzazione e la creazione cartografica, poiché ha permesso sia di integrare dati di diversi formato e scala, sia di elaborare, intersecare e confrontare i dati a disposizione.

Inoltre il monitoraggio di differenti fattori ambientali si è mostrato utile a comprendere che la suscettibilità a franare dei pendii dipende non solo dalla piovosità e quindi dalla variazione del livello piezometrico ma anche dalla variazione temporale dell'uso del suolo.

Infatti considerando i risultati ottenuti nello studio dell'uso del suolo, si è osservato che la trasformazione a seminativo, spesso realizzata su pendii ripidi e già soggetti a instabilità, renderebbe l'area più franosa, mentre le aree costantemente coltivate, nel tempo, tendono a stabilizzarsi.

Inoltre, i movimenti franosi, che si verificano principalmente nei periodi piovosi (novembre-marzo), in alcuni casi mostrano una relazione spaziale con la distribuzione delle zone umide. Questa relazione, non sorprendente dato che entrambi i fenomeni sono correlati all'occorrenza di livelli piezometrici elevati, è tuttavia difficile da quantificare data la complessità dei parametri idrogeologici e geomeccanici in gioco. Essa sarà oggetto di uno studio più approfondito volto a rappresentare in termini modellistici la stabilità dei pendii con l'utilizzo di dati geotecnici e di monitoraggio piezometrico.

Ringraziamenti

Parte dei dati presenti in questo lavoro sono stati ottenuti durante le indagini condotte nell'ambito della convenzione tra CNR-IRPI e Prefettura di Foggia. Si ringrazia l'amministrazione comunale di Rocchetta Sant'Antonio e l'Ing. Amoruso della Regione Puglia per il loro supporto.

Riferimenti bibliografici

- Coppin N., Richards I. (1990), "Use of Vegetation in Civil Engineering.", Butterworths, London.
- Glade T. (2003), "Landslide occurrence as a response to land use change: a review of evidence from New Zealand." *Catena* 51, 297-314.
- Lamanna C., Casarano D., Gigante G., Wasowski J. (2009a), "Mappatura e studio dei fenomeni franosi nel Subappennino dauno con immagini satellitari ad alta risoluzione", *Atti 13^a Conferenza Nazionale ASITA*, Bari, 1-4 Dicembre 2009, 1227-1232
- Lamanna C., Casarano D., Wasowski J. (2009b), "Cambiamenti dell'uso del suolo e aumento dell'attività franosa nel territorio di Rocchetta Sant'Antonio (Appennino dauno)", *Il Quaternario*, 22(2): 139-156
- Ray R. L., Jacobs J. M., de Alba P. (2010), "Impact of vadose zone soil moisture and groundwater in slope instability", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000357](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000357)
- Slide R. C., Ochiai H. (2006), "Landslides: processes, prediction and land use", *American Geophysical Union, Water Resources Monograph*, 18
- Slide R. C., Pearce A. J., O'Loughlin C. L. (1985), "Hillslope Stability and Land Use", *American Geophysical Union, Water Resources Monograph*, 11
- Wasowski J. (1998), "Understanding landslide-rainfall relationship in man-modified environments: a case history from Caramanico Terme (Italy)", *Environmental Geology*, 35: 197-209
- Wasowski J., Lamanna C., Casarano D. (2010), "Influence of land-use change and precipitation patterns on landslide activity in the Daunia Apennines, Italy", *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43: 387-401
- Wasowski J., Lamanna C., Gigante G., Casarano D. (2012), "High resolution satellite imagery analysis for inferring surface-subsurface water relationships in unstable slopes", *Remote Sensing of Environmental*, 124: 135-148
- Wasowski J., Lamanna C., Dipalma Lagreca M., Pasquariello G. (2013), "Combining high resolution space- and air-borne data with borehole monitoring to investigate surface-subsurface water relations in landslide-prone slopes", EGU General Assembly 2013, vol. 15, EGU2013-5466