

## **PROCESSI RESPONSABILI DELL'EVOLUZIONE DELLE ZONE DI FAGLIA NEI PERIODI COSISMICI E INTERSISMICI: L'ESEMPIO DELL'APPENNINO CENTRALE**

**D. Di Naccio<sup>1</sup>, V. Kastelic<sup>1</sup>, M.M.C. Carafa<sup>1</sup>, C. Esposito<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - INGV, L'Aquila*

<sup>2</sup> *Università Sapienza, Roma*

L'osservazione della evoluzione del paesaggio offre importanti informazioni sulla deformazione della crosta terrestre ad opera dei processi tettonici, nonché sulla geometria e sui ratei di attività delle faglie che guidano tale deformazione. Gli studi geologico-strutturali finalizzati alla caratterizzazione e parametrizzazione delle faglie attive mediante dati di superficie e di sottosuolo devono, però, tener conto anche degli effetti che altri processi non tettonici possono avere sull'evoluzione del paesaggio. Per ottenere informazioni relative all'attività delle faglie - e quindi alla definizione del loro eventuale potenziale sismogenetico - e al relativo impatto sulla morfologia è quindi importante riconoscere ed eliminare le componenti di deformazione non tettonica. In altre parole, è fondamentale evitare di interpretare come evidenza di un potenziale sismogenetico latente deformazioni della superficie che hanno origine da processi non tettonici.

Un elemento morfotettonico caratteristico di molte zone di faglia estensionali dell'Appennino centrale è il cosiddetto "nastrino di faglia", una scarpata tettonica da planare a curvilinea alta da qualche metro fino a 10 metri e composta da rocce carbonatiche spesso esposte a diversi gradi di erosione biochimica e meccanica. Queste strutture si osservano lungo i versanti montuosi a diverse quote rispetto al rilievo locale e la loro estensione laterale è strettamente legata a quella dei versanti stessi. Il paesaggio è quindi dominato da rilievi e bacini intramontani di origine prevalentemente tettonica a cui si associano morfologie di origine fluvio-glaciale e carsica. Nel blocco di letto della faglia sono presenti depositi colluvio-eluviali con coperture di suolo ricco in materia organica e ampiamente vegetato. I nastrini di faglia sono spesso interpretati come la diretta prosecuzione in superficie delle faglie sismogeniche profonde, mentre la loro altezza viene interpretata come evidenza diretta di fagliazione primaria attiva. Sotto questa assunzione

l'altezza delle scarpate in roccia viene quindi spesso utilizzata per stimare lo *slip rate* di lungo termine delle sottostanti faglie, nella presunzione che per il solo fatto di arrivare in superficie esse siano anche sismogeniche e capaci di generare terremoti di M 6.0+.

In questo lavoro presentiamo un modello alternativo di esposizione lungo zone di faglia estensionali durante la fase interseismica e cosismica. Il nostro obiettivo principale è quello di mettere in evidenza come un nastrino di faglia sia la risultante di diversi processi sia tettonici che erosivo-deposizionali.

Misure effettuate con sistematicità alla base di 23 nastrini di faglia selezionati dell'Appennino centrale hanno mostrato che l'esposizione dei piani in roccia carbonatica al di sotto del materiale colluvio-eluviale avviene con ratei fino a 40 mm/anno (Kastelic *et al.*, 2017). I ratei più veloci sono stati misurati in periodi caratterizzati da temperature più alte, mentre le variazioni di piovosità non influenzano in modo lineare il processo di esposizione. Per le faglie monitorate in più punti di misura osserviamo che l'esposizione di breve termine varia in maniera significativa anche spazialmente, ma tale variabilità diminuisce nel lungo termine. Oltre che nei punti selezionati per le misure il processo di progressiva esposizione del piano di faglia è chiaramente osservabile lungo ampi tratti del nastrino. In particolare il processo è evidenziato da un sbiancamento della scarpata in roccia direttamente in contatto con il colluvio-eluvio e riconducibile a lenti abbassamenti dei depositi al tetto della faglia o a repentini crolli. I dati misurati testimoniano quindi un movimento di abbassamento/scivolamento del materiale al tetto della faglia avvenuto in assenza di attività sismica in tutta l'area di studio, quindi anche in zona di faglia, e possono quindi essere considerati come rappresentativi di deformazione anelastica durante i periodi non caratterizzati dalle sequenze sismiche..

Per analizzare i fattori che in condizioni dinamiche influenzano l'esposizione o la deformazione lungo scarpate tettoniche delimitate da depositi continentali non consolidati presentiamo il caso di studio del M. Vettore. Lungo il versante occidentale di questo importante rilievo la sequenza sismica del 2016 ha portato alla formazione di una complessa serie di scarpate con formazione di fratture aperte e ringiovanimento di piani di faglia in roccia. Secondo l'interpretazione più comune queste scarpate e fratture vengono considerate effetti primari del terremoto, ovvero come espressione della propagazione in superficie della fagliazione che ha luogo in profondità (Emergeo WG, 2016; Mildon *et al.*, 2016; Lavecchia *et al.*, 2017). Una parte minoritaria della comunità scientifica ha invece interpretato e modellato la deformazione cosismica osservata lungo il sistema di faglie del M. Vettore a seguito del terremoto di Amatrice del 24 agosto 2016 ( $M_w$  6.0) come un movimento di tipo gravitativo profondo (Huang *et al.*, 2016). Questa divergenza nelle interpretazioni del campo di deformazione superficiale suggerisce una complessa interazione tra differenti processi cosismici legati sia alla deformazione tettonica (es. fagliazione superficiale), sia allo scuotimento sismico (movimenti gravitativi, addensamento, fratturazione secondaria).

In questo lavoro proponiamo un modello geo-litologico a due strati del M. Vettore (*bedrock* carbonatico fratturato e depositi continentali, sia di versante che eluvio-colluviali) assumendo che all'interno di ciascuno strato le proprietà reologiche siano omogenee e costanti. Abbiamo quindi effettuato un'analisi di stabilità del versante in condizioni statiche seguendo il metodo di Janbu e Bishop in 2D e 3D (Bishop, 1955; Janbu, 1973) ed in condizioni dinamiche secondo il metodo proposto da Newark (1965). In questo modo è stata stimata la componente gravitativa del movimento lungo il sistema di faglia del M. Vettore a seguito dei terremoti del 24 agosto e 30 ottobre 2016. I nostri risultati mostrano chiaramente che gli *offset* misurati (esposizione nastrini e fratture nel colluvio-eluvio) sono il risultato di diversi processi e non esclusivamente della fagliazione primaria. L'assetto topografico e le proprietà reologiche delle litologie coinvolte influenzano in modo decisivo l'andamento del campo di deformazione cosismico osservato.

Il nostro contributo, mostrando che i tassi di erosione non sono pari a zero e che la deformazione cosismica contiene una componente non tettonica, mette in discussione la presunzione che l'esposizione dei piani di faglia in Appennino centrale sia dovuta esclusivamente a fagliazione

primaria durante forti terremoti. I risultati che presentiamo dovrebbero quindi essere tenuti in considerazione sia nel calcolo degli *slip rates* che nella determinazione tramite paleosismologia della magnitudo di precedenti eventi. Le pendenze del rilievo, i contatti tra diverse unità litologiche, le proprietà reologiche e tassi di erosione delle stesse fattori-chiave di cui tenere conto prima di attribuire alla componente tettonica l'intero processo osservato lungo le zone di faglie, sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche.

### Bibliografia

- Bishop A.W.; 1955: *The use of circle in the stability analysis of slopes*. Geotechnique, **5**, 7-17.
- EMERGEIO Working Group (2016). *Coseismic effects of the 2016 Amatrice seismic sequence: first geological results*. Ann. Geophys., **59**(5), doi:10.4401/ag-7195.
- Huang M.H., Fielding E.J., Liang C., Milillo P., Bekaert D., Dreger D., Salzer J.; 2016: *Coseismic deformation and triggered landslides of the 2016  $M_w$  6.2 Amatrice earthquake in Italy*. Geophys. Res. Lett., **44**, 1266–1274, doi:10.1002/2016GL071687.
- Janbu N.; 1973: *Slope stability computations*. The embankment dam Engineering Casagrande Volume. John Wiley e Sons, 47-86.
- Kastelic V., Burrato P., Carafa M.M.C. e Basili R.; 2017: *Repeated surveys reveal non-tectonic exposure of supposedly active normal faults in the central Apennines, Italy*. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, **122**, doi: 10.1002/2016JF003953.
- Lavecchia G., Castaldo R., de Nardis R., De Novellis V., Ferrarini F., Pepe S., Brozzetti F., Solaro G., Cirillo D., Bonano M., Boncio P., Casu F., De Luca C., Lanari R., Manunta M., Manzo M., Pepe A., Zinno I. e Tizzani P.; 2016: *Ground deformation and source geometry of the 24 August 2016 Amatrice earthquake (Central Italy) investigated through analytical and numerical modeling of DInSAR measurements and structural-geological data*. Geophys. Res. Lett., **43**, doi:10.1002/2016GL071723.
- Mildon Z. K., Iezzi F., Wedmore L. N. J., Gregory L. C., McCaffrey K. J. W., Wilkinson M. W., Faure Walker J., Roberts G., Livio F., Vittori E., Michetti A., Frigerio C., Ferrario F., Blumetti A. M., Guerrieri L., Di Manna P. e Comerci V.; 2016: *Detailed Surface Rupture Geometry from the 2016 Amatrice Earthquake*. American Geophysical Union, Fall General Assembly 2016, abstract S43F-3212.
- Newmark N.M.; 1965: Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique, **15**(2), 139-60.