

## INTEGRAZIONE DI ANALISI GEO-MORFOMETRICHE E PALEOSISMOLOGICHE PER LA DEFINIZIONE DELL'ATTIVITÀ DELLA FAGLIA DI CITTANOVA (CALABRIA MERIDIONALE)

E. Peronace<sup>1,2</sup>, M. Della Seta<sup>1</sup>, F. Troiani<sup>1</sup>, P. Galli<sup>2,3</sup>, B. Giaccio<sup>2</sup>, P. Messina<sup>2</sup>, P. Fredi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, Sapienza Università di Roma

<sup>2</sup> Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, CNR, Roma

<sup>3</sup> Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Roma

**Introduzione.** Mentre la Calabria meridionale è l'area epicentrale dei maggiori terremoti italiani ( $M_w \geq 7$ ), solo alcune delle relative strutture sismogeniche sono note o condivise dalla comunità scientifica. Sebbene nell'area non manchino studi di carattere geologico-strutturale (Ghisetti, 1981; Tortorici *et al.*, 1995), geologico-geomorfologico (Cotecchia *et al.*, 1986; Miyauchi *et al.*, 1994) e paleosismologico (Galli e Bosi, 2002; Galli *et al.*, 2007; Galli e Peronace, 2015), il quadro delle conoscenze sulle strutture tettoniche attive e sulla loro caratterizzazione sismogenetica è ancora incompleto. D'altro canto, diversi studi realizzati sul territorio calabrese (Molin *et al.*, 2004; Olivetti *et al.*, 2012; Pirrotta *et al.*, 2016) mettono in relazione le anomalie del paesaggio identificate tramite analisi su indici geo-morfometrici e l'attività tettonica recente.

In questo studio è stato applicato un approccio integrato di analisi morfotettonica e paleosismologica s.l. finalizzato alla ricostruzione della storia deformativa e della parametrizzazione sismogenetica della faglia di Cittanova.

**Inquadramento geologico e geomorfologico.** La faglia di Cittanova (CF) mette a contatto il basamento cristallino-metamorfico aspromontano con i depositi marini plio-pleistocenici di riempimento della Piana di Gioia Tauro. La sua attività recente è stata ipotizzata da numerosi studi geologici e sismologici (Cotecchia *et al.*, 1986; Tortorici *et al.*, 1995; Jacques *et al.*, 2001; Raffaele *et al.*, 2006; Giampiccolo *et al.*, 2008) e provata definitivamente da analisi

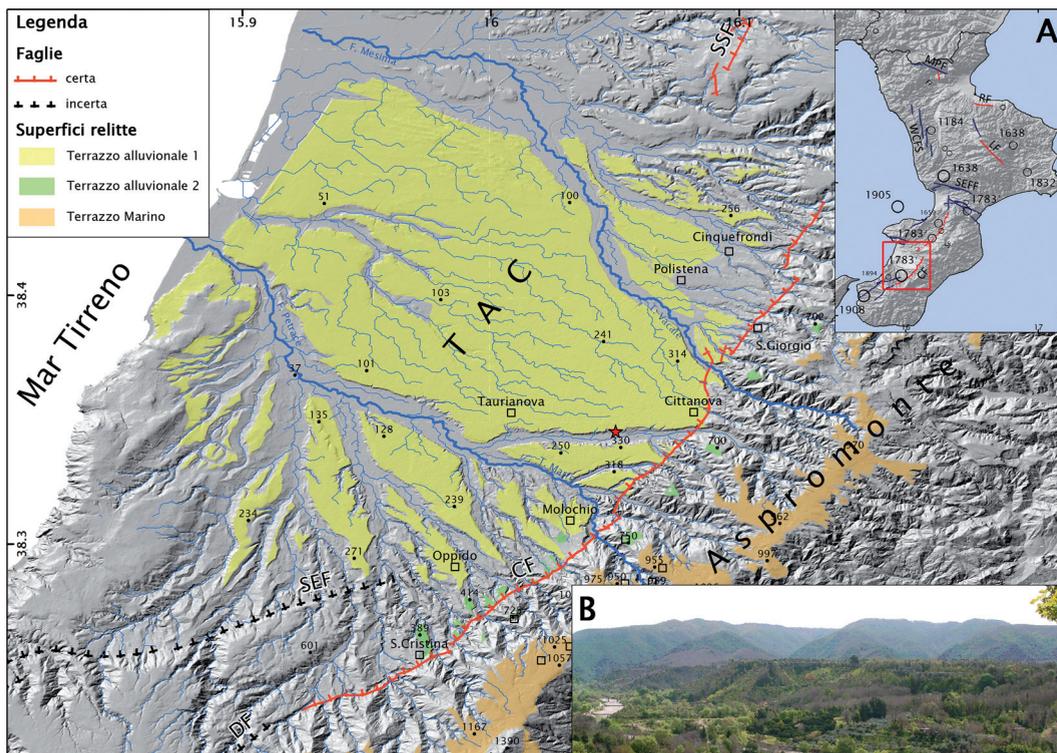


Fig. 1 – Markers geomorfologici dell'area interessata dalla CF (linea rossa; i trattini indicano il lato ribassato); la stella rossa è il sito della sezione stratigrafica sede dei paleosuoli campionati e datati al 14C in laboratorio). A: Sismicità storica e faglie sismogenetiche primarie (in rosso quelle investigate mediante analisi paleosismologiche) della Calabria con evidenziata l'area di studio (rettangolo rosso); B: Vista verso nord della scarpata di faglia con il terrazzo marino sulle pendici aspromontane ed il terrazzo alluvionale della TAC in primo piano.

paleosismologiche e storiche (Galli e Bosi, 2002), queste ultime descrittive dei fenomeni di fagliazione superficiale avvenuti in occasione del catastrofico terremoto del 5 febbraio 1783 (Mw 7.0). Recentemente, Pirrotta *et al.* (2016) hanno analizzato alcuni parametri gerarchici e indici geomorfici del reticolo fluviale di alcuni bacini idrografici dell'area, associando le anomalie lungo faglie ad attività tettonica recente.

**Materiali e metodi.** Le attività di studio si sono concentrate sull'analisi dei *markers* geomorfologici dell'area interessata dalla CF (Galli e Bosi, 2002; Galli e Peronace, 2015; Fig. 1) e sull'applicazione di due analisi geo-morfometriche indipendenti per lo studio dei reticoli idrografici e dei profili longitudinali dei corsi d'acqua. Accanto ad un approccio "classico", basato su *SL index* (Hack, 1973) rivisto da Troiani e Della Seta (2008) e Troiani *et al.* (2014), lo studio è stato completato dall'approccio integrale di Perron e Royden (2013) applicato allo studio dei reticoli idrografici. È stata quindi realizzata un'analisi in ambiente GIS dei dati di Aster GDEM (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>) finalizzata all'estrazione dei reticoli idrografici, seguendo il metodo proposto da Schwanghart e Scherler (2014). Le analisi morfometriche sul reticolo sono state eseguite utilizzando gli strumenti di analisi idrologica disponibili nel software ESRI® ArcGIS 10.2 e nei codici di calcolo riportati in TopoToolbox (Schwanghart e Scherler, 2014) sviluppati in ambiente Matlab®.

All'uopo sono stati eseguiti rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio sul terreno finalizzati alla mappatura dei terrazzi marini e fluviali presenti nell'area, al rilevamento stratigrafico di dettaglio dei depositi quaternari con campionamenti e datazioni numeriche di livelli stratigrafici chiave.

I dati raccolti hanno permesso di definire ed utilizzare come *markers* geomorfologici la sequenza di terrazzi marini e fluviali riconosciuti nell'area di studio.

**Risultati.** *Tipologia e distribuzione dei markers geomorfologici* – L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di una sequenza di terrazzi fluviali e marini quaternari risultanti dall'azione combinata dell'attività tettonica e delle oscillazioni climatiche. Sono stati mappati tre ordini di superfici relitte (Fig.1; si veda la foto di Fig. 1B), vincolate cronologicamente sulla base sia di dati pregressi (Miyachi *et al.*, 1994; Tortorici *et al.*, 1995; Galli e Bosi, 2002; Galli e Peronace, 2015) sia dai dati acquisiti ex-novo.

Dalle sommità aspromontane verso la Piana di Gioia Tauro si riconoscono, quindi:

- la superficie alta del massiccio dell'Aspromonte (~1000 m s.l.m.; Fig. 1B), costituita da un terrazzo marino del Pleistocene inferiore (in arancio in Fig. 1), datato a 1-1.1 Ma da Miyachi *et al.* (1994) facendo riferimento alle analisi stratigrafiche e paleontologiche di Barrier *et al.* (1986);
- la superficie continentale intermedia (in verde in Fig. 1), mappata e verosimilmente riferibile al Pleistocene Medio (Galli e Peronace, 2015), ubicata a cavallo della faglia di Cittanova, alle quote di 700 m sul letto e a ~400 m al tetto;
- l'ampio terrazzo fluviale di Cittanova-Taurianova (TAC; in giallo in Fig. 1), si sviluppa dalla base dell'Aspromonte (~400 m s.l.m.; Fig. 1B) sino alla costa tirrenica (~25 m s.l.m.). L'età di questa superficie è stata ipotizzata da diversi autori (125 ka da Miyachi *et al.*, 1994; Pleistocene medio-superiore da Tortorici *et al.*, 1995), ed è stata vincolata alla fine del Pleistocene Superiore da Galli e Peronace (2015).

Nuovi rilievi stratigrafici di dettaglio e le datazioni al  $^{14}\text{C}$  di colluvi e paleosuoli interdigitati nel conoide (Fig. 1), hanno consentito di vincolare meglio l'età della superficie (TAC; post 24 ka) e di ricostruire le fasi evolutive del conoide nella seconda metà del Pleistocene superiore (~40 ka). È importante notare che questa superficie è dislocata dalla CF, permettendo così di calcolare il rigetto verticale minimo negli ultimi 28 ka (Galli e Peronace, 2015). La distribuzione della dislocazione verticale lungo la direzione di faglia suggerisce una maggiore attività nella porzione centrale della stessa (tra Cittanova e Oppido; Figg. 1 e 3), che coincide da un lato con la zona di massimo danneggiamento in occasione del terremoto del 5 febbraio 1783 (Galli e Bosi, 2002) e, dall'altro con i maggiori spessori della successione pleistocenica.

*Risultati analisi geo-morfometriche.* L'analisi è stata applicata sui bacini idrografici (con ordine gerarchico di Stralher pari a 6) dei fiumi Mesima (780 km<sup>2</sup>) e Petrace (398 km<sup>2</sup>). In particolare, l'analisi si è concentrata nel settore in cui il reticolo fluviale intercetta la CF (Fig. 1), tra i blocchi di letto e di tetto, e nell'area d'interfluvio dove sono conservati i markers geomorfologici (Fig. 1) e dove sono ipotizzati i maggiori tassi deformativi.

Sono quindi stati calcolati e interpretati due parametri indipendenti relativi ai profili longitudinali dei corsi d'acqua: SL index (Hack, 1973) e  $\chi$  (Perron and Royden, 2013), entrambi utilizzati per individuare quelle porzioni dell'area di studio che mostrano una maggiore riorganizzazione del reticolo in risposta dell'attività della CF e le principali anomalie lungo i profili longitudinali (knickpoints) dei corsi d'acqua.

Per ciò che concerne l'SL index, sono stati considerati come anomali quei valori oltre la media statistica, distinti in tre livelli differenti in funzione della distanza dell'anomalia dalla deviazione standard (Fig. 2a). L'analisi ha consentito di evidenziare le knick-zones riconducibili all'attività della faglia, escludendo le anomalie legate alle variazioni litologiche e quelle riconducibili alle instabilità di versante che possono aver interagito coi corsi d'acqua (Troiani *et al.*, 2014). Dalla distribuzione spaziale dell'SL index (Fig. 2a) si osserva come i valori anomali principali si concentrano lungo una fascia ubicata prevalentemente al tetto della faglia di Cittanova.

Indipendentemente da quest'ultima, è stata realizzata l'analisi del  $\chi$ , parametro indice dello stato dinamico di un reticolo idrografico in roccia, basato essenzialmente sulla sua geometria (Willett *et al.*, 2014). Una mappa di  $\chi$  dà l'indicazione dello stato di disequilibrio di un tratto di alveo e quindi della sua energia, se confrontato con un altro tratto limitrofo posto alla stessa

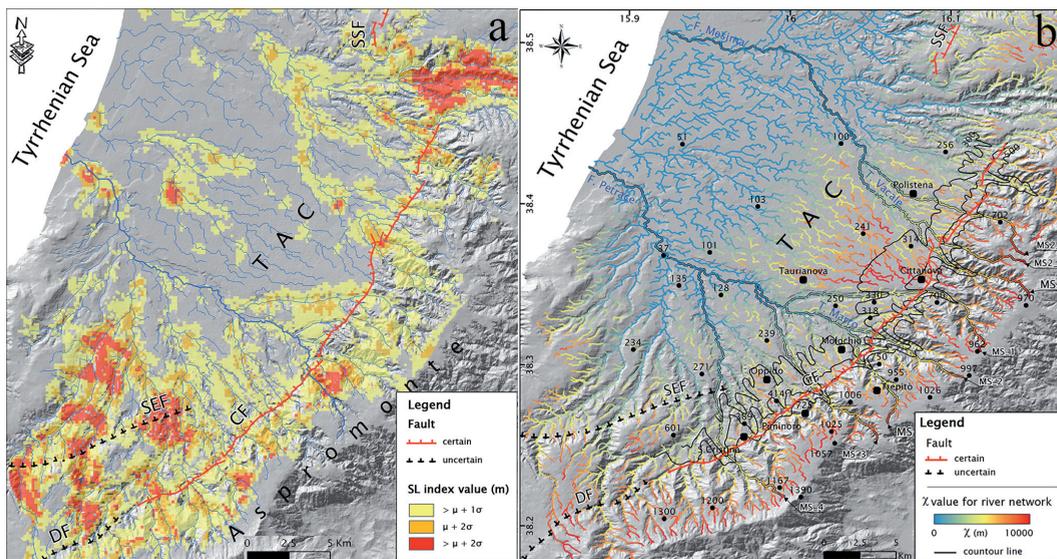


Fig. 2 – a) mappa delle anomalie di SL index rappresentate con tre livelli differenti in funzione della distanza dal valore medio; b) mappa della distribuzione spaziale del  $\chi$  con, in nero, le curve di livello di quota 300, 400 e 500 m s.l.m.

quota, rispetto allo stesso livello di base. La sua distribuzione areale consente di individuare quei tratti del reticolo idrografico che si stanno riorganizzando dopo aver subito una perturbazione, in questo caso legata all'attività tettonica della faglia. L'analisi si è concentrata proprio sulla distribuzione spaziale del  $\chi$ , a cavallo della CF (Fig. 2b), nella fascia altimetrica tra quota 300 e 500 m s.l.m. La proiezione dei valori di  $\chi$  lungo la direzione della faglia ha un'ottima corrispondenza con l'andamento della dislocazione verticale della stessa (Fig. 3), così come misurata sulla TAC e relativa agli ultimi 28 ka.

**Conclusioni.** I risultati delle analisi geo-morfometriche sul reticolo idrografico (SL index and  $\chi$  map) e sui *markers* geomorfologici si accordano e completano i vincoli derivati dalle analisi paleosismologiche, evidenziando una maggiore deformazione nel settore centrale della CF, ovvero la zona di maggior danneggiamento in occasione del terremoto del 5 febbraio 1783 (Mw=7.0), nonché zona di maggior spessore della successione pleistocenica.

Questo risultato implica come l'approccio di studio integrato tra morfotettonica quaternaria e la paleosismologia possa essere utilizzato per ricostruire lo stile deformativo delle faglie ad attività recente fornendo dati indispensabili per una completa caratterizzazione delle sorgenti sismogenetiche finalizzata a studi di pericolosità sismica.

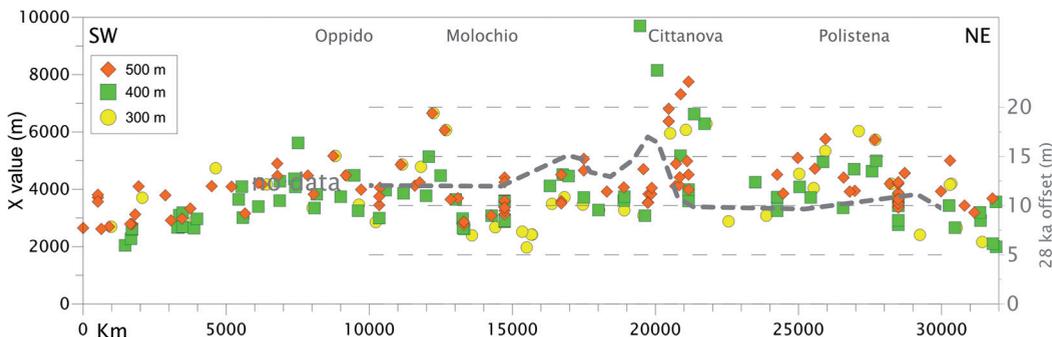


Fig. 3 – Distribuzione dei valori di  $\chi$  relativi a tre quote differenti, plottati lungo la traccia della faglia. La linea grigia a tratteggio rappresenta la proiezione lungo faglia dell'offset verticale della TAC (Galli e Peronace, 2015).

## Bibliografia

- Barrier P., Di Geronimo L., Lanzafame G.; 1986: I rapporti tra tettonica e sedimentazione nell'evoluzione recente dell'Aspromonte occidentale (Calabria), Riv. It. Paleont. Strat., **91**, 537-556.
- Cotecchia V., Guerricchio A., Melidoro G.; 1986: The geomorphogenetic crisis triggered by the 1783 earthquake in Calabria (southern Italy). Proceeding of the International Symposium on Engineering Geology problems in seismic areas, **6**, 245-304.
- Galli P., Bosi V.; 2002: Paleoseismology along the Cittanova fault. Implications for seismotectonics and earthquake recurrence in Calabria (southern Italy), J. Geophys. Res., **107**, B3. doi:10.1029/2001JB000234.
- Galli P., Scionti V., Spina V.; 2007: New paleoseismic data from the Lakes and Serre faults (Calabria, southern Italy). Seismotectonic implication, Boll. Soc. Geol. It., **126**, 347-364.
- Galli P.A.C., Peronace E.; 2015: Low slip rates and multimillennial return times for Mw 7 earthquake faults in southern Calabria (Italy), Geoph. Res. Lett., **42**. doi:10.1002/2015GL064062.
- Ghisetti L.; 1981: L'evoluzione strutturale del bacino Plio-Pleistocenico di Reggio Calabria nel quadro geodinamico dell'Arco Calabro, Boll. Soc. Geol. It., **100**, 433-466.
- Giampiccolo E, Musumeci C, Falà F, Gresta S.; 2008: Seismological investigations in the Gioia Tauro Basin (southern Calabria, Italy), Ann. Geophys.-Italy, **51**, 769-799. DOI: 10.4401/ag-3018.
- Hack J.T.; 1973: Stream-profile analysis and stream-gradient index, U. S. Geol. Surv. J. Res., **1**, 421-429.
- Jacques E, Monaco C, Tapponnier P, Tortorici T, Winter T.; 2001: Faulting and earthquake triggering during the 1783 Calabria seismic sequence, Geophys. J. Int., **147**, 499-516.
- Miyachi T., Dai Pra G., Sylos Labini S.; 1994: Geochronology of Pleistocene marine terraces and regional tectonics in the Tyrrhenian coast of southern Calabria, Italy, Il Quaternario, **7/1**, 17-34.
- Molin P., Pazzaglia F.J., Dramis F.; 2004: Geomorphic expression of active tectonics in a rapidly deforming forearc, Sila Massif, Calabria, southern Italy, Am. J. Sci., **304**, 559-589, doi:10.2475/ajs.304.7.559.
- Olivetti V., Cyr A.J., Molin P., Faccenna C., Granger D.E.; 2012: Uplift history of the Sila Massif, southern Italy, deciphered from cosmogenic <sup>10</sup>Be erosion rates and river longitudinal profile analysis, Tectonics, **31**, TC3007, doi:10.1029/2011TC003037.
- Perron J.T. e Royden L., 2013. An integral approach to bedrock river profile analysis Surf. Process. Landforms **38**, 570-576. DOI: 10.1002/esp.3302.
- Pirrotta C., Barbano M.S., Monaco C.; 2016: Evidence of active tectonics in southern Calabria (Italy) by geomorphic analysis: the examples of the Catona and Petrace rivers Ital, J. Geosci., **135/1** , 142-156, doi: 10.3301/IJG.2015.20.
- Raffaele R, Langer H, Gresta S, Moia F.; 2006: Tomographic inversion of local earthquake data from the Gioia Tauro basin (south-western Calabria, Italy), Geophys. J. Int., **165**, 167-179. DOI:10.1111/j.1365-246X.2006.02872.x
- Schwanghart W., Scherler D.; 2014: TopoToolbox 2 – MATLAB-based software for topographic analysis and modeling in Earth surface sciences, Earth Surface Dynamics, **2**, 1-7. doi:10.5194/esurf-2-1-2014.
- Tortorici L., Monaco C., Tansi C., Cocina O.; 1995: Recent and active tectonics in the Calabrian arc (Southern Italy), Tectonophysics, **243**, 37-55.
- Troiani F., Della Seta M.; 2008: The use of the stream length-gradient index in morphotectonic analysis of small catchments: a case study from central Italy, Geomorphology, **102**, 159-168. doi:10.1016/j.geomorph.2007.06.020.
- Troiani F., Galve J., Piacentini D., Della Seta M., Guerrero J.; 2014: Spatial analysis of stream length-gradient (SL) index for detecting hillslope processes: A case of the Gallego River headwaters (Central Pyrenees, Spain), Geomorphology, **214**, 183-197. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.02.004.
- Willett S.D., McCoy S.W., Perron J.T., Gorren L., Chen C.Y.; 2014: Dynamic reorganization of river basins, Sciences, **343**, 1248765-1. http://dx.doi.org/10.1126/science.1248765.