

## EVIDENZE DI ATTIVITÀ E VINCOLI CINEMATICI DELLA FAGLIA DI BOJANO (“NORTHERN MATESE FAULT SYSTEM”, MOLISE)

A. Galderisi<sup>1</sup>, P. Galli<sup>2</sup>, S. Mazzoli<sup>1</sup>, E. Peronace<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dipartimento di Scienze della Terra, delle Risorse e dell'Ambiente, Università Federico II, Napoli

<sup>2</sup> Dipartimento della Protezione Civile, Roma

<sup>3</sup> Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria CNR, Roma

**Introduzione.** In questo lavoro si sono applicate le metodologie della geologia strutturale al fine di ricostruire le fasi evolutive di una struttura tettonica attiva e sismogenetica. Nello specifico è stata esaminata la faglia bordiera del bacino di Bojano (“Northern Matese Fault system” in Galli e Galadini, 2003. NMFS nel seguito) allo scopo di definirne l'evoluzione, individuandone le varie fasi cinematiche dal Pliocene superiore all'attuale. Per raggiungere tale obiettivo è stato utilizzando un metodo di analisi che correla i dati strutturali rilevati durante la campagna con altri di carattere geologico, paleosismologico e sismologico. In particolare, sono stati confrontati i meccanismi focali sintetici - calcolati partendo dai dati strutturali - ai meccanismi focali disponibili per l'area. E' stato altresì calcolato il campo di stress e di strain agente sulle faglie, comparandolo a quello attuale. Sono stati calcolati i cerchi di Mohr-Coulomb per individuare le fasi cinematiche di genesi della faglia e le fasi riattivate. Inoltre, durante il rilevamento, sono emerse evidenze geologiche che hanno consentito di porre dei vincoli temporali dell'attività della faglia. Dall'interpretazione dei risultati ottenuti è stato possibile ricostruire il modello evolutivo del NMFS.

**Quadro sismotettonico.** Secondo alcuni autori (p.e. Cinque, 2000; Caiazzo *et al.*, 2006), nel corso del Quaternario l'Appennino meridionale è stato interessato da due principali eventi distensivi con direzioni tra loro perpendicolari: uno NW-SE, che risulta essere il più antico ed è perdurato dal Pleistocene inferiore fino al Pleistocene medio; l'altro, tutt'ora attivo (Cinque, 2000), con direzione di estensione NE-SW.

L'evento estensionale con direzione NW-SE, ha provocato la formazione di faglie distensive aventi direzione NE-SW e la riattivazione, con cinematica obliqua sinistra, delle faglie preesistenti, sia con orientazione appenninica che con orientazione E-W (Caiazzo *et al.*, 2006). Questo evento tettonico si manifesta con cinematica sia di carattere normale che trascorrente, entrambe caratterizzate da una comune orientazione del  $\sigma_3$  sull'asse NW-SE (Cinque, 2000; Hippolyte, 1992).

Le faglie attivate dalla fase estensionale con direzione NE-SW sono le più recenti (Pleistocene Medio-Superiore) e spesso riattivano, con una cinematica obliqua destra, discontinuità preesistenti aventi direzione NW-SE e E-W (Caiazzo *et al.*, 2006). Tale campo di stress può ritenersi ancora attivo, in quanto risulta analogo a quello desumibile dalle analisi dei dati sismologici (Cello *et al.*, 1982; Montone *et al.*, 2004). Un esempio di fagliazione attiva con cinematica obliqua destra e direzione di estensione NE-SW per faglie aventi direzione NW-SE e W-E, è riconosciuto da Galli *et al.* (2002) e Peronace *et al.* (2015) per l'area del bacino di Bojano.

Il bacino di Bojano (Molise) è l'area epicentrale di alcuni tra i più forti terremoti storici della catena appenninica, responsabili della distruzione di decine di paesi e della morte di migliaia di persone. Tra i terremoti più importanti che hanno interessato tale area sono da ricordare il terremoto del 280 a.C., gli eventi del dicembre 1456 e del luglio 1805. Un'ultima modesta sequenza sismica è avvenuta nel gennaio del 2016, confermando ulteriormente la presenza, l'attività e la cinematica del sistema di faglie (Fig. 1).

In particolare il terremoto del 280 a.C. è stato associato al NMFS a seguito di studi archeo-paleosismologici (Galli e Galadini, 2003) che hanno evidenziato e permesso di datare la fagliazione del muro perimetrale del santuario di Ercole di Campochiaro e di alcune abitazioni al suo interno, tutte dislocate con un movimento obliquo destro.

Il terremoto del dicembre 1456 è l'evento più importante del medioevo italiano ed è stato caratterizzato da almeno tre *mainshoks*, con diverse aree epicentrali distribuite lungo

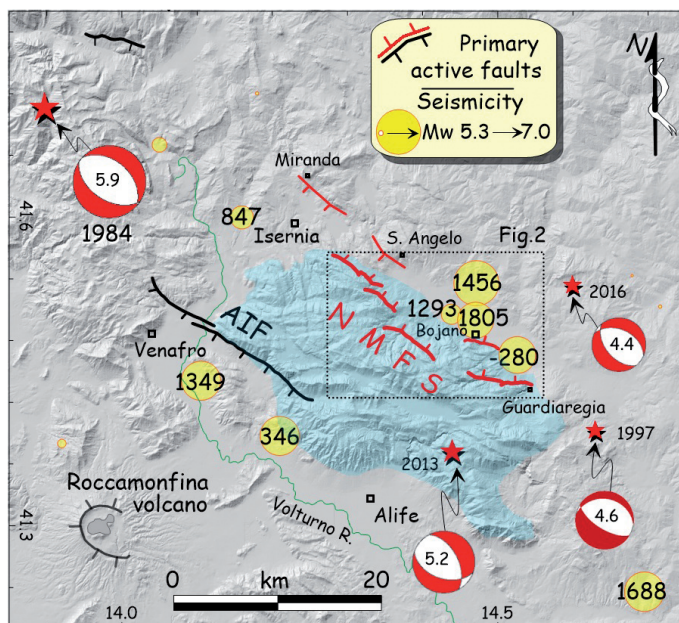


Fig. 1 – Modello digitale del terreno del Massiccio del Matese ove sono rappresentati i maggiori terremoti che hanno interessato l’area (Galli *et al.*, sottomesso).

la catena appenninica: la più meridionale nel beneventano (Io=XI MCS), una intermedia nella piana di Bojano (Io=X-XI) ed una più settentrionale nell’area dei monti della Meta e Mainarde (Io=X-XI; Fig. 1) (Galli *et al.*, 2002).

L’evento sismico del 26 luglio 1805 è l’ultimo terremoto distruttivo che ha colpito i paesi della piana di Bojano. La distribuzione delle massime intensità delinea un’area epicentrale centrata sulla piana, legata all’attivazione della struttura bordiera del Matese (NMFS) e, probabilmente, delle sue antitetiche lungo il versante sudoccidentale dei monti del Sannio (faglie di Pesche-Angelo in Grotte; Galli *et al.*, 2002).

**Dati e risultati.** Nel corso del rilevamento geologico-strutturale del sistema di faglie bordiere del bacino di Bojano (NMFS), sono state rilevate 127 stazioni di misura distribuite in modo uniforme lungo tutto il sistema di faglie, nelle quali sono stati censiti circa un migliaio di piani di faglia (Fig. 2). Per ognuno di questi piani di faglia sono state misurate immersione, direzione, inclinazione e *pitch* delle strie che hanno reso possibile calcolare *plunge* e *trend* delle stesse. È stato anche condotto un rilevamento di massima del contesto geologico lungo faglia, in generale nei depositi e nelle forme del Pleistocene Medio-Superiore presenti nell’*hanging wall*. I risultati delle analisi effettuate hanno confermato la presenza di attività tettonica estensionale anche nel Pleistocene Medio-Olocene.

Le evidenze di attività di fagliazione recente lungo diversi segmenti di faglia sono rappresentate principalmente nel rinvenimento di:

- breccie di versante di età Pleistocene Medio rilevate a tergo del Monte Patalecchia che risultano sia in contatto tettonico con carbonati cretacici sia dislocate da *splays* riferibili ad un’età successiva almeno al Pleistocene Medio-Superiore;
- livello vulcanoclastico dislocato, ubicato sul Monte Patalecchia, proveniente dai Campi Flegrei e riferibile alla fase eruttiva del Tufo Giallo Napoletano (14.4 ka);
- breccie di versante di età Pleistocene Medio raddrizzate e fagliate sul piano di faglia di Bojano;
- depositi di versante di età Pleistocene Superiore-Olocene basculati contromonte del segmento di Campochiaro, all’interno dei quali è stato riconosciuto un livello di tefra riconducibile all’Ignimbrite Campana (39 ka).

I campi di *stress* e *strain* sono stati calcolati attraverso l’elaborazione e l’analisi dei dati rilevati in campagna, al fine di individuare l’ultima direzione di estensione che ha interessato le faglie. Qualunque sia stato il meccanismo genetico che abbia generato le faglie, esse risultano riattivate secondo il campo estensionale attuale, verosimilmente a scapito della neo-formazione di strutture estensionali più favorevolmente orientate.

In genere, gli indicatori cinematici sui piani di faglia mostrano una spiccata natura

polifasica. Di fatto, le strie che determinano una cinematica obliqua destra sono le più recenti perché tagliano tutti gli altri sistemi.

A conferma di tali evidenze, sono state effettuate analisi strutturali dei piani di faglia che sono state successivamente correlate con analisi di tipo reologico, i.e., attraverso lo studio dei cerchi di *Mohr-Coulomb*. Tali analisi sono finalizzate all'individuazione della fase tettonica che ha generato le faglie e le fasi riattivate. I risultati ottenuti suggeriscono che il sistema di faglie rilevato sia stato caratterizzato prima da una fase estensionale e successivamente riattivato da una altra fase distensiva che ha conferito una cinematica obliqua destra.

I tre sistemi di faglia rilevati presentano direzioni diverse: uno con *trend* appenninico NW-SE, uno con direzione E-W e uno con direzione NE-SW.

Dalle osservazioni di campagna e dall'analisi dei dati rilevati risulta che i lineamenti più antichi siano quelli con trend E-W; questi sono stati probabilmente seguiti da piani di faglia con orientazione NE-SW; i lineamenti più recenti in ordine di tempo, sono quelli con *trend* appenninico che dislocano tutti i sistemi precedenti.

I meccanismi focali sintetici calcolati per ogni segmento di faglia coincidono con i meccanismi focali di terremoti recenti disponibili in letteratura, in particolare quelli che riguardano la sequenza sismica che ha interessato l'area del bacino di Bojano nel gennaio 2016 c.a. Tale sequenza sismica è ubicata nel tetto della faglia di Campochiaro alla quale già risultavano correlati i terremoti del 280 a.C., del 1456 e del 1805 (Galli *et al.*, 2002).

Particolare attenzione è stata posta sul segmento di Campochiaro che ha subito, nel corso della sua attività, una fase tettonica iniziale, non chiaramente individuata negli altri segmenti di faglia. L'analisi dei cerchi di *Mohr-Coulomb* ha evidenziato che anche in questo segmento si è generato in regime estensionale. In particolare, si è qui assunto che, in analogia ad altre faglie dell'Appennino meridionale aventi direzione

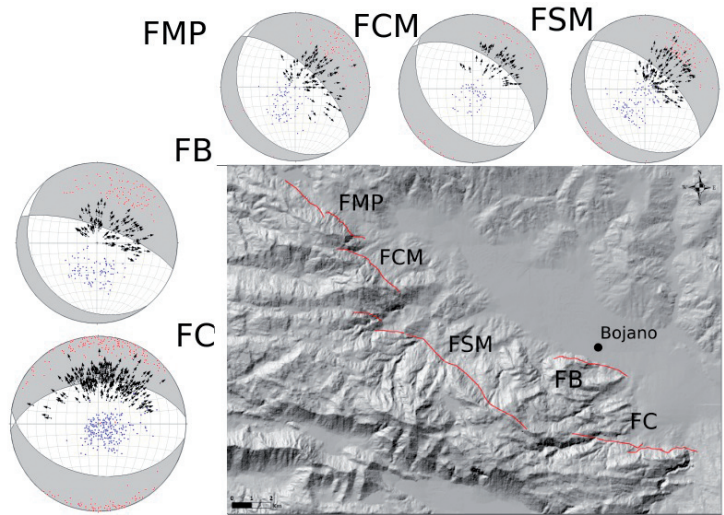


Fig. 2 – Meccanismi focali dei cinque segmenti di faglia in cui vi sono riportati i piani di faglia con relative *striae trend*. I punti rossi sono la proiezioni sullo stereogramma degli assi T mentre, i punti blu equivalgono all'asse P.

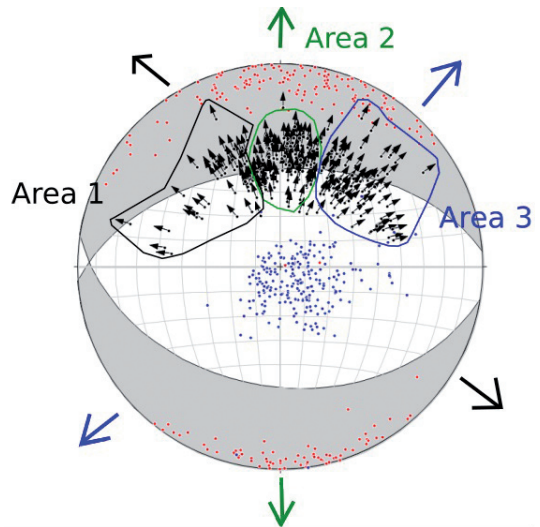


Fig. 3 – Sterogramma della faglia di Campochiaro con *striae trend* e proiezione degli assi T (punti rossi) e assi P (punti blu). Vengono messe in evidenza l'area 1 (nera) con direzione di estensione NW-SE, area 2 (verde) con direzione di estensione N-S e l'area 3 (blu) con direzione di estensione odierna NE-SW.

E-W (Cinque *et al.*, 2000; Caiazzo *et al.*, 2006), questo segmento di faglia sia stato generato da una fase estensionale con direzione N-S (Pliocene Superiore). Dall'analisi dello stereogramma della faglia di Campochiaro risulta che le *striae trend* hanno una disposizione a raggiera che interessa sia il primo che il quarto quadrante (Fig. 3). La densità di distribuzione delle *striae trend* e dei relativi assi T permette di individuare tre direzioni di estensione che corrispondono a tre fasi tettoniche estensionali: una che ne conferisce un cinematica dip-slip (area 2), una cinematica obliqua sinistra (area 1) e un'altra cinematica obliqua destra (area 3).

Concludendo, poiché il **diagramma di Mohr-Coulomb** per le faglie estensionali evidenzia che esse sono di neof ormazione e poiché le evidenze di campagna sulle strie mostrano che la fase obliqua destra taglia tutte le altre, è possibile ipotizzare un modello di attività della faglia di Campochiaro in cui la fase obliqua sinistra si pone tra la fase estensionale e la fase obliqua destra. Questo modello è in accordo con i modelli di fagliazione di Caiazzo *et al.* (2000), e Cinque *et al.* (2006), i quali individuano, per altre faglie dell'Appennino meridionale, una fase obliqua sinistra attiva durante il Pliocene-Pleistocene Inferiore e, una fase obliqua destra attiva dal Pleistocene Medio ad oggi.

### Bibliografia

- Caiazzo C., Ascione A., Cinque A., 2006. Late Tertiary–Quaternary tectonics of the Southern Apennines (Italy): New evidences from the Tyrrhenian slope. *Tectonophysics* 421 (2006) 23–51.
- Cello et al, 1982. Geometry of the neotectonic stress field in southern Italy: geological and seismological evidence. *J. Struct. Geol.*, 4, 385-393.
- Cinque, A., Ascione, A., Caiazzo, C. 2000. Distribuzione spazio-temporale e caratterizzazione della fagliazione quaternaria in Appennino Meridionale. In: Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999), a cura di F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez, 1-14.
- Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S. (1987). Il terremoto di S. Anna del 26 Luglio 1805. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 37, 171-191.
- Galli P., Galadini F. and Capini S. (2002): Analisi archeosismologiche nel santuario di Ercole di Campochiaro (Matese). Evidenze di un terremoto distruttivo sconosciuto ed implicazioni sismotettoniche, *Italian Journal of Quaternary Sciences* 15(2), 151-163.
- Galli P. and Galadini F. 2003: Disruptive earthquakes revealed by faulted archaeological relics in Samnium (Molise, southern Italy), *Geophys. Res. Lett.* 30(5), 1266, doi:10.1029/2002GL016456.
- Hippolyte J.C. 1992. *Tecnonique de l'Apennin meridionale: structures et paleocontraintes d'un prisme d'accretion continentale*. These de Doct., Univ. P. e M. Curie, Paris.
- Hippolyte, J. C., Angelier, J., Barrier, E. 1995. Compressional and extensional tectonics in an arc system: example of the Southern Apennines. *Journal of Structural Geology*, 17(12), 1725-1740.
- Meletti, C., Patacca, E., Scandone, P., Figliuolo B., 1988. Il terremoto del 1456 e la sua interpretazione nel quadro sismotettonico dell'Appennino meridionale, In: Figliuolo B.: Il terremoto del 1456, Edizioni Studi Storici Meridionali, Altavilla Silentina (SA), 1, 70–108; 2, 35–163.
- Montone, P., Mariucci, M. T., Pondrelli, S., Amato, A. 2004. An improved stress map for Italy and surrounding region (central Mediterranean). *Journal of Geophysical Research*, 109, B10410.
- Peronace E., Galli P., Giaccio B., Messina P., Amato V., Bellanova J., Billi A., Blamart D., Giocoli A., Naso G., Nomade S., Piscitelli S., Stabile T. 2015. Active tectonics in the December 2013, Mw 5.24 earthquake area (Matese massif): insights on the relationships with the conterminous Aequae Iuliae and Northern Matese faults. DPC-INGV-S1 Project.