

ANALISI DI SEQUENZE SISMICHE DI PICCOLA MAGNITUDO IN CALABRIA

F. Napolitano¹, A. Gervasi^{1,2}, D. Galluzzo³, M. La Rocca¹, F. Filice¹, I. Guerra¹

¹ *Università della Calabria, Arcavacata di Rende (CS)*

² *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Arcavacata di Rende (CS)*

³ *Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Napoli*

L'Arco Calabro è un importante orogene della penisola italiana caratterizzato da una intensa attività tettonica e sismica. Esso si colloca sul limite di placca Africa-Europa, al di sopra di una zona di subduzione immergente a NO (*slab* Ionico), caratterizzata da un bacino di retroarco ad ovest (Mar Tirreno), sede di un arco vulcanico attivo (Isole Eolie), da un prisma di accrezione con *thrust faults* SE-vergenti (Mar Ionio) e da una ben definita *Wadati-Benioff zone*, con terremoti che si distribuiscono lungo tutto lo *slab* fino a 500 km di profondità.

Sequenze di terremoti di bassa magnitudo sono frequenti lungo l'Arco Calabro. In alcuni casi si verificano sciame di centinaia o addirittura migliaia di piccoli terremoti. Ad esempio tra il 2010 ed il 2013 l'area del Pollino (zona di transizione tra Arco Calabro e Appennino

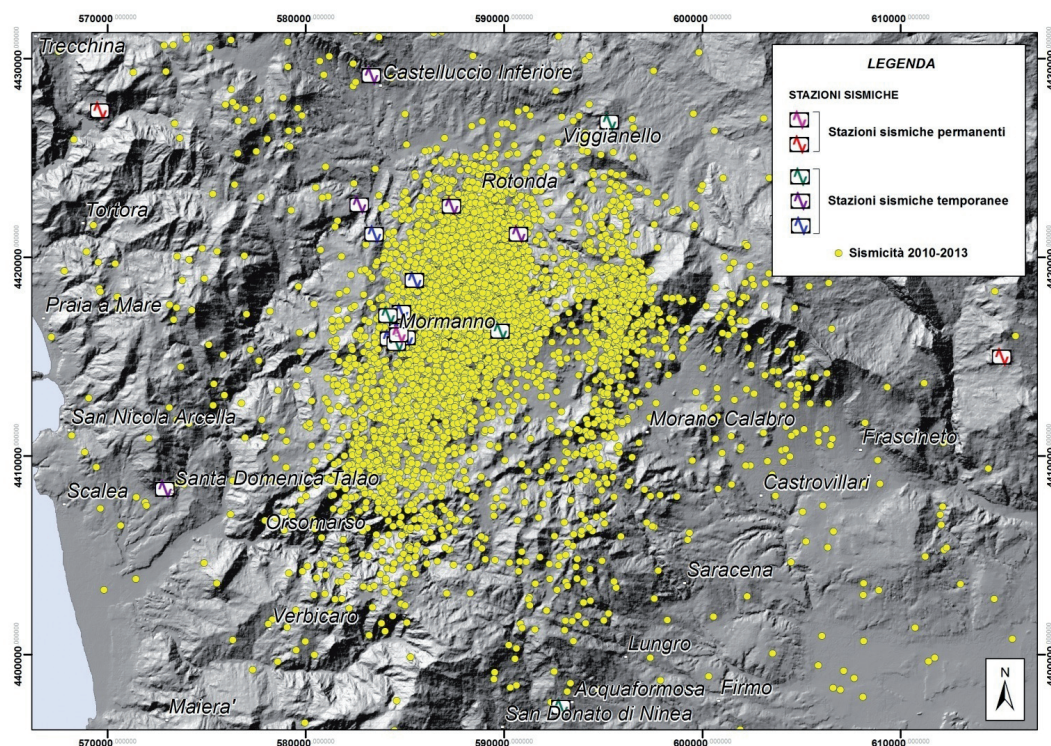


Fig. 1 – Stazioni sismiche permanenti e temporanee nell’area del Pollino (confine calabro-lucano) ed epicentri della sequenza sismica del 2010-2013.

meridionale), è stata interessata da una crisi sismica caratterizzata da oltre 6000 terremoti di bassa e moderata magnitudo (Fig. 1), principalmente localizzati tra 4-15 km di profondità (De Gori *et al.*, 2014; Totaro *et al.*, 2013, 2015). Il terremoto più forte della sequenza, caratterizzato da una magnitudo locale pari a 5.0, risale al 25/10/2012. Tale sequenza sismica è stata attribuita ad almeno due faglie normali e sub-parallele orientate circa NNO-SSE ed immergenti ad O-SO (Totaro *et al.*, 2015), coerenti con la deformazione tettonica estensionale, orientata NE-SO, che caratterizza l’intero Appennino meridionale ed è responsabile di gran parte del rischio sismico di questo settore.

Anche se durante gli ultimi secoli la sismicità nell’area del Pollino è stata caratterizzata da pochi eventi di magnitudo moderata (M_{max} 5.2-6; Guerra *et al.*, 2005), studi paleosismologici rivelano la presenza di faglie capaci di generare terremoti di magnitudo 6.5-7 (Michetti *et al.*, 1997), suggerendo per la stessa area un importante gap nell’attività sismica.

In questo lavoro sono stati selezionati ed elaborati alcune centinaia di microterremoti con lo scopo di effettuare un’analisi di dettaglio delle strutture sismogenetiche responsabili della sequenza sismica 2010-2013. Tale analisi si basa sulla individuazione di famiglie di terremoti, cioè eventi caratterizzati da forma d’onda estremamente simile (Fig. 2), e pertanto verosimilmente prodotti dalla stessa faglia o da segmenti adiacenti della stessa struttura sismogenetica. Per tale analisi abbiamo selezionato le forme d’onda registrate da tutte le stazioni sismiche installate nell’area. La ricerca dei cluster è stata fatta mediante il calcolo della cross-correlazione normalizzata tra le forme d’onda per ogni coppia di terremoti ad una stazione di riferimento. I cluster sono stati selezionati con la condizione che tutti gli eventi avessero tra loro una cross-correlazione maggiore di 0.8. Per ogni cluster è stato adottato un evento di riferimento per l’analisi successiva, che consiste nella localizzazione relativa. Solitamente il terremoto di riferimento è uno degli eventi di magnitudo maggiore, il che ne favorisce la

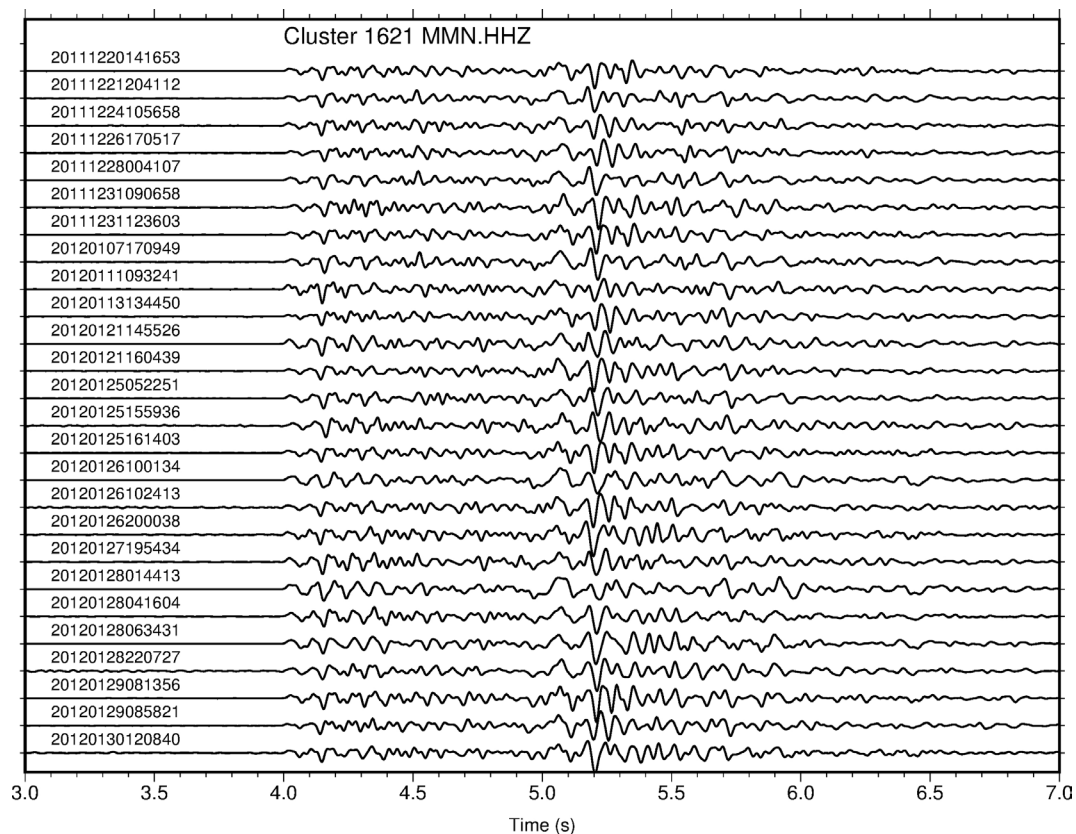


Fig. 2 – Sismogrammi di una famiglia di microterremoti registrati dalla stazione MMN.

registrazione con buon rapporto segnale rumore ad un cospicuo numero di stazioni, condizione utile per avere una localizzazione assoluta affidabile, possibilmente con copertura azimutale adeguata ($\text{gap} < 120^\circ$). Il passo successivo consiste nella localizzazione relativa di tutti gli eventi del cluster rispetto all'evento di riferimento. Per ridurre l'errore spaziale sulla localizzazione relativa, che si basa sui ritardi di tempo misurati attraverso la cross-correlazione, tutti i segnali analizzati sono stati ricampionati a 500 sps in modo da aumentare la precisione dei dt. Poiché la localizzazione relativa è tanto più precisa quanto più numerosi sono i dt misurati, questa analisi è stata effettuata iniziando dal periodo dicembre 2011 - settembre 2012, in cui era più alto il numero di stazioni temporanee installate nell'area. In tale periodo i terremoti di magnitudo M_L sono stati registrati con dati di buona qualità fino a 10 stazioni in un raggio di 15 km dall'epicentro.

Gli ipocentri calcolati dalla localizzazione relativa (Fig. 3) mostrano una distribuzione planare con una estensione dell'ordine di alcune centinaia di metri, il che suggerisce che i vari terremoti di un dato cluster siano stati prodotti da segmenti adiacenti e/o sovrapposti della stessa faglia. Per studiare l'orientamento del piano di faglia, per ogni cluster la distribuzione degli ipocentri è stata interpolata mediante un piano inclinato. I cluster analizzati finora sono caratterizzati da ipocentri che denotano piani di faglia immergenti a SO con inclinazione di circa 50° . Tale geometria risulta in ottimo accordo con quanto già dedotto da altri studi a scala più grande basati sull'analisi dei terremoti più forti ($M >= 3$) della stessa sequenza sismica (Totaro *et al.*, 2015).

Passo successivo è stato il calcolo del meccanismo focale degli eventi di riferimento e il relativo confronto con la distribuzione degli ipocentri. Per il confronto abbiamo considerato

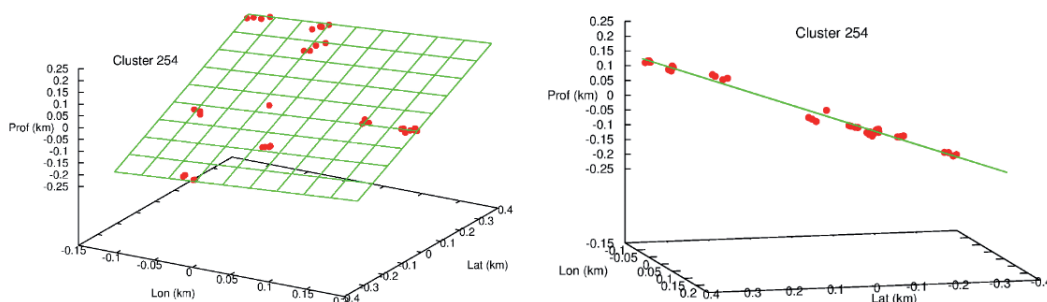


Fig. 3 – Distribuzione degli ipocentri calcolati mediante la localizzazione relativa per il cluster 1621 e relativa interpolazione con un piano inclinato.

entrambi i piani forniti dal meccanismo focale (piano di faglia e piano ausiliario) e calcolato l'angolo che essi formano con il piano che interpola gli ipocentri. In alcuni casi l'accordo tra distribuzione degli ipocentri e uno dei piani del meccanismo focale è molto buono, come per esempio nel caso del cluster 254. In qualche caso il piano ottenuto dalla distribuzione di ipocentri risulta parecchio diverso da entrambi i piani del meccanismo focale. Il motivo principale sembra imputabile alla scarsa affidabilità del meccanismo focale dovuta al basso rapporto segnale rumore che caratterizza gli eventi più piccoli registrati a distanza maggiore di circa 15 km. Per ovviare a questo inconveniente, in alcuni casi di famiglie caratterizzate da eventi molto piccoli abbiamo effettuato lo stacking dei sismogrammi per migliorare il rapporto segnale rumore in modo da valutare meglio la polarità delle fasi dirette in caso di inizio emergente e per la fase S. I risultati preliminari sono positivi ma sul meccanismo focale dei terremoti di magnitudo $M < 1$ rimangono molte incertezze.

Per ogni evento dei diversi cluster è stata calcolata la frequenza d'angolo dello spettro in spostamento, utilizzata per stimare la lunghezza della faglia ipotizzando una velocità di rottura pari a 0.9Vs. La stima della dimensione della rottura per terremoti molto piccoli è affetta da notevole incertezza a causa delle alte frequenze d'angolo, molto suscettibili all'attenuazione anche a distanze piccole, e agli effetti di sito. L'attenuazione per frequenze maggiori di 15 Hz non è mai stata calcolata per l'area del Pollino, quindi abbiamo assunto $Q=400$ per correggere gli spettri prima della stima della frequenza d'angolo. I risultati preliminari di questa analisi hanno fornito dimensioni della sorgente comprese tra 90 m e 230 metri per terremoti di magnitudo compresa tra 0.7 e 2.5. Tali valori, confrontati con l'estensione della distribuzione di ipocentri, suggerisce che i vari terremoti di ogni cluster siano stati generati da settori della stessa faglia almeno in parte sovrapposti.

Le stesse analisi effettuate sui terremoti del Pollino sono state applicate anche a due sciami localizzati in Sila, uno avvenuto in agosto 2015 e un altro a settembre 2016. La ricerca dei cluster alle stazioni più vicine ha mostrato che esistono eventi con forme d'onda estremamente simili, quindi adatti allo studio della sorgente sismogenetica come descritto per il Pollino. Un cluster di almeno 10 terremoti è stato individuato tra gli eventi di settembre 2016. L'analisi preliminare mostra un piano di faglia ben definito, ma ulteriori approfondimenti sono in corso per vincolare al meglio il meccanismo focale e calcolare la dimensione della sorgente. Il meccanismo focale calcolato per il terremoto più forte (M3.4) è di tipo strike slip con l'asse P orientato E-W e l'asse T in direzione N-S. Ulteriori analisi su altri eventi miglioreranno sicuramente l'interpretazione della struttura sismogenetica responsabile di questo sciame.

Bibliografia

Chiarabba C., Piana Agostinetti N., and Bianchi I.; 2016: *Lithospheric fault and kinematic decoupling of the apennines system across the Pollino range*, Geophys. Res. Lett., 43, doi:10.1002/2015GL067610.
 De Gori P., Margheriti L., Lucente F. P., Govoni A., Moretti M., and Pastori M.; 2014: *Seismic activity images the activated fault system. In the Pollino area, at the Apennines-Calabrian arc Boundary region*, NGGTS Bologna.

- Guerra I., Harabaglia P., Gervasi A., and Rosa A. B.; 2005: *The 1998–1999 Pollino (southern Apennines, Italy) Seismic Crisis: Tomography of a Sequence* // Ann. Geophys. 48, no. 6, 995-1007.
- Michetti A.M., Ferrelì L., Serva L., and Vittori E.; 1997: *Geological evidence for strong historical earthquakes in “aseismic” region: the Pollino case (southern Italy)*, J. Geodynamics, Vol.24, Nos 1-4, pp 67-86.
- Totaro C., Presti D., Billi A., Gervasi A., Orecchio B., Guerra I., e Neri G.; 2013: *The ongoing seismic sequence at the Pollino Mountains, Italy*, Seismological Research Letters, Volume 84, No. 6.
- Totaro C., Seeber L., Waldhauser F., Steckler M., Gervasi A., Guerra I., Orecchio B., and Presti D.; 2015: *An intense earthquake swarm in the southernmost apennines: fault architecture from high-resolution hypocenters and focal mechanisms* // Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 105, No. 6, pp. -, doi:10.1785/0120150074.