

# Un nuovo modello sismotettonico sull'origine del terremoto del 1908.

Giovanni Barreca, Carmelo Monaco

Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Catania

## Riassunto

A più di cento anni dal devastante terremoto di Messina-Reggio Calabria, il più grande evento sismico mai registrato nell'Europa meridionale in epoca strumentale, i modelli di rottura sismogenetica proposti sono lontani da una soluzione condivisa. L'interpretazione di un nuovo set di dati di profili sismici sottomarini con risoluzione senza precedenti, della sismicità rilocalizzata e di un modello di velocità di onde P, insieme a nuove indagini morfotettoniche e a un modello d'inversione dei dati di livellazione disponibili, hanno fornito ulteriori vincoli sui meccanismi di deformazione e sulle caratteristiche sismotettoniche dell'area dello Stretto di Messina. Le linee sismiche ad alta risoluzione nell'offshore, insieme alla dislocazione dei terrazzi marini quaternari sulla terraferma, indicano una deformazione attiva lungo una faglia estensionale lunga circa 34,5 km precedentemente non mappata. La lunghezza della faglia insieme al rigetto del fondale marino suggeriscono infatti che questa struttura tettonica sia la più idonea a produrre grandi terremoti nell'area dello Stretto di Messina.

## Introduzione

Il drammatico terremoto di Messina-Reggio Calabria del 1908 ( $M=7.1$ , oltre 70.000 morti; Fig. 1) ha rappresentato, per la sismologia mondiale, uno dei primi eventi da studiare con metodi moderni, simili a quelli che la geofisica mondiale tutt'oggi utilizza per individuare le faglie sismogenetiche. Per una utile coincidenza, infatti, l'allora Geodeta Capo dell'Istituto Geografico Militare Antonio Loperfido svolse una campagna di livellazione di precisione proprio un anno prima del catastrofico evento. Dopo il terremoto, Loperfido e i topografi dell'IGM tornarono sugli stessi punti e li rimisurarono e le variazioni nelle quote rispetto al livello del mare che osservarono erano impressionanti: in alcuni punti del Porto di Messina, infatti il terreno si era abbassato anche di 70 centimetri (Fig. 2) mentre a sud di Reggio Calabria la subsidenza arrivò fino a 40 centimetri (Loperfido, 1909). L'importanza scientifica di queste misure è stata fondamentale per la ricerca della faglia che ha originato il terremoto, visto che non erano visibili sul terreno tracce evidenti della struttura sismogenetica. In seguito allo sviluppo degli strumenti matematici a disposizione della geofisica, negli ultimi quarant'anni si è assistito infatti al proliferare di pubblicazioni (Schick et al., 1977; Mulargia and Boschi, 1983; Bottari et al., 1986; Capuano et al., 1988; Boschi et al., 1989; De Natale & Pingue, 1991; Valensise & Pantosti, 1992; Amoroso et al., 2002; Aloisi et al., 2012; Meschis et al., 2019) che ricostruiscono, grazie alla cosiddetta "inversione" di quei dati di livellazione, tutti i principali parametri della faglia origine, ivi compresa la sua posizione (Fig. 3). Molte sono le pubblicazioni che convergono sulla modellizzazione di una ipotetica faglia, cosiddetta "cieca", ovvero che non ha una espressione chiara in superficie, orientata circa nord-sud, ubicata lungo il bordo siciliano dello Stretto per una estensione di una trentina di chilometri. Altra caratteristica interessante è il basso angolo con cui questa faglia immergerebbe verso la sponda calabrese. Su questa faglia, secondo gli autori di quei lavori scientifici, si concentrano tutte le forze che agiscono in quest'area e periodicamente sempre la stessa struttura rilascerebbe tutta l'energia accumulata attraverso un terremoto "tipico" che avrebbe tempi di ritorno di oltre mille anni (il cosiddetto "terremoto di progetto"). Essendosi verificato il terremoto solo cento anni fa, dunque, una eventuale grande struttura come il Ponte sullo Stretto, secondo questa ipotesi sarebbe al sicuro per un periodo che va ben oltre quello tipico di "vita" di una grande infrastruttura.

Un nuovo studio condotto nell'area dello Stretto di Messina, frutto di una collaborazione internazionale tra il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche ed Ambientali dell'Università

di Catania (**Giovanni Barreca e Carmelo Monaco**), il Center for Ocean and Society-Institute of Geosciences dell'Università di Kiel in Germania (**Felix Gross e Sebastian Krastel**) e L'INGV-OE di Catania (**Lucianò Scarfi e Marco Aloisi**) svela, per la prima volta sulla base di dati geologici e geofisici, l'esatta ubicazione e le caratteristiche geometriche della possibile faglia da cui si originò il devastante sisma. La ricerca, dal titolo "*The Messina Strait: Seismotectonic and the Source of the 1908 Earthquake*", è stata di recente pubblicata sulla rivista *Earth-Science Reviews* (Barreca et al., 2021). Lo studio si è basato principalmente sulla interpretazione di 35 profili sismici a riflessione ad alta risoluzione oltre che sull'analisi della sismicità rilocalizzata e di un modello di velocità di onde P, insieme a nuove indagini morfotettoniche e a un modello d'inversione dei dati di livellazione disponibili.

### **Dati geologici e geofisici**

Esplorazioni geofisiche ad alta risoluzione sotto il fondale marino hanno fornito nuovi vincoli sulla definizione dell'assetto strutturale dello Stretto di Messina, lungo il quale l'estensione quaternaria è stata accomodata da una serie di faglie estensionali ubicate nella porzione crostale più superficiale. Le strutture più recenti sono evidenti lungo il lato siciliano dello Stretto. In particolare, le linee sismiche hanno consentito di individuare in modo inequivocabile una discontinuità strutturale, denominata W-Fault (Fig. 4; Barreca et al., 2021), ubicata con direzione NNE-SSO a circa 3 km dalla costa siciliana. La faglia mostra evidenze di attività recente poiché disloca il fondale marino con scarpate alte fino a 80 m (Fig. 5). La W-Fault emerge sul fondale marino lungo il segmento più rettilineo del Canyon di Messina e proprio dove autori precedenti (v. Ridente et al., 2014) hanno osservato/mappato faccette triangolari e valli sospese.

L'analisi sismica in ambiente 3D e studi geologici e geomorfologici sul terreno hanno poi permesso di seguire la struttura per tutto il suo sviluppo ottenendo dunque preziose informazioni sulla sua lunghezza, un parametro fondamentale per la stima della magnitudo massima attesa in caso di riattivazione della stessa ma anche per un raffronto con l'evento del 1908. Alla latitudine di Messina, il piano di faglia curva probabilmente verso est penetrando nell'entroterra calabrese per proseguire poi lungo l'asta fluviale del torrente Catona, una incisione fluviale tra Villa S. Giovanni e Reggio Calabria (Fig. 4). La continuazione della W-Fault attraverso la costa calabrese è stata provata dalla deformazione dei terrazzi marini quaternari, basculati e dislocati lungo la valle del fiume Catona. Nell'insieme, la faglia è inclinata verso est e raggiunge la lunghezza massima di 34,5 km. Secondo le relazioni lunghezza-magnitudo, la faglia è in grado di scatenare terremoti di magnitudo 6,9, una energia molto simile a quella liberata durante il terremoto del 1908. Questo dato, insieme all'analisi critica delle fonti storiche e allo sviluppo di modelli matematici di dislocazione, suggerisce di fatto che la struttura tettonica individuata sia verosimilmente quella che più di 100 anni fa causò la più grave sciagura sismica del 900.

### **Dati sismologici e geodetici**

I modelli tomografici  $V_p$  hanno permesso di visualizzare l'assetto sub-crostante del settore indagato rivelando un'ampia risalita del mantello al di sopra della zona di subduzione ionica e una riduzione della sismicità, evidenziata dagli ipocentri ad alta precisione rilocalizzati nell'area. Questa suggerisce la presenza di un limite reologico all'interno della crosta che delinea approssimativamente una discontinuità a basso angolo e immergente verso est e che sarebbe la causa del processo principale di sollevamento tettonico dei monti Peloritani e della deformazione nell'area dello Stretto di Messina. Secondo il nostro modello crostante, basato sulla ricostruzione della discontinuità sismica e sulla

modellazione geomeccanica, l'attuale grande velocità di deformazione geodetica intersismica nell'area (2-3 mm/a, Mattia et al., 2009; Serpelloni et al., 2010), è accomodata quasi asismicamente dalla discontinuità a basso angolo che produrrebbe una perturbazione nello stress nell'area e l'attivazione di faglie estensionali nella crosta superiore. La discontinuità a basso angolo è dunque indiziata di favorire il movimento verso est di un esteso blocco crostale comprendente l'area dello Stretto e parte della Calabria meridionale sotto l'effetto della gravità ed in maniera quasi asismica ma incoraggerebbe la rottura cosismica di alcune faglie più superficiali, tra cui la nuova struttura individuata nel nostro studio. In questo quadro e seguendo la modellazione 3D, si può invocare una relazione di causa-effetto tra risalita del mantello, rigonfiamento litosferico, scorrimento della faglia a basso angolo ed estensione crostale, quest'ultima accomodata da faglie normali ad alto angolo, tra cui la W-Fault lungo l'asse dello Stretto e l'antitetica faglia di Armo sulla sponda calabrese (v. Aloisi et al., 2012).

La deformazione quaternaria nell'area e i relativi processi sismotettonici sono dunque interpretati come la risposta della crosta superiore ad un processo sub-crostatale dominato dal ritiro differenziale della placca ionica (il cosiddetto *roll-back*) e dalla relativa risalita del mantello nell'avanzamento, confermando studi precedenti nell'area (Doglioni et al., 1999; Gvirtzman e Nur, 1999; Faccenna et al., 2001). Il modello di deformazione proposto è supportato dall'analisi dello stress di Coulomb e da una nuova inversione dei dati di livellazione eseguita utilizzando sorgenti multiple. La modellazione della variazione dello stress di Coulomb ha rivelato che lo scorrimento normale asismico simulato sulla discontinuità a basso angolo può indurre ulteriore stress e innescare la rottura fragile nelle sovrastanti faglie. Un eccellente adattamento tra la subsidenza calcolata e quella osservata è ottenuto dall'inversione dei dati geodetici che ha risolto uno scorrimento normale sulla discontinuità a basso angolo e un movimento transtensionale (leggermente sinistro-laterale) sulla faglia estensionale lunga 34,5 km, precedentemente sconosciuta. Le due analisi indipendenti evidenziano che lo stress regionale può essere trasferito principalmente alla W-Fault secondo uno scorrimento normale simulato sulla discontinuità a basso angolo e che un ottimo adattamento tra subsidenza calcolata e osservata viene risolto attivando solo la discontinuità a basso angolo e la W-Fault. Ciò conferma il ruolo significativo delle due discontinuità nel produrre subsidenza nell'area, il cui effetto cumulato può spiegare i segnali di lunghezza d'onda lunga e corta evidenziati dall'inversione dei dati di livellamento. Da notare che il modello d'inversione potrebbe spiegare anche la riattivazione della faglia antitetica alla W-Fault, ovvero la Faglia di Armo (Fig. 4) che, con direzione NE-SO, taglia l'estrema punta meridionale della Calabria, come evidenziato dal precedente studio di Aloisi et al. (2012). Questa struttura mostra segni di riattivazione recente, ovvero di movimenti avvenuti negli ultimi 100.000 anni ed in particolare nell'Olocene, come dimostra la spiaggia sollevata a più di 3 metri d'altezza nei pressi di Capo dell'Armi.

## Conclusioni

In conclusione, il nostro studio ha portato ad una revisione critica della letteratura esistente, fornendo nuovi vincoli sul modello sismotettonico dello Stretto di Messina, una delle zone a più alto rischio sismico d'Italia, e aggiungendo un tassello significativo nella identificazione della faglia responsabile del terremoto del 28 dicembre 1908. In particolare, si propone come fonte del sisma la W-Fault, ubicata lungo l'asse dello Stretto con prolungamento nella sponda calabrese, anche se non si può escludere una coeva riattivazione dell'antitetica faglia di Armo. Ciò, quindi, indebolisce l'ipotesi che il grande terremoto possa essersi enucleato lungo una discontinuità cieca a basso angolo, come proposto dagli studi precedenti, basati quasi esclusivamente sull'inversione dei dati di

livellazione del Loperfido. Ciò che emerge è che l'intensa deformazione tettonica che interessa quest'area non viene ripartita su un'unica faglia che in tempi medio-lunghi rilascia un forte terremoto, ma è ripartita su più strutture attive la cui riattivazione potrebbe potenzialmente danneggiare le infrastrutture. Dunque, i risultati e l'interpretazione che derivano da questo studio, e particolarmente i dati riguardanti la fagliazione sismogenetica nell'area, possono essere di notevole interesse per sia per la riduzione del rischio sismico in un territorio fortemente urbanizzato, sia per la politica di sviluppo delle infrastrutture, tra cui soprattutto il Ponte che dovrebbe collegare Sicilia e Calabria.

## Riferimenti bibliografici

- Aloisi, M., Bruno, V., Cannavò, F., Ferranti, L., Mattia, M., Monaco, C. and M. Palano, M., 2013. Are the source models of the M 7.1 1908 Strait of Messina earthquake reliable? Insights from a novel inversion and a sensitivity analysis of leveling data. *Geophysical Journal International*, 192, 3, 1025-1041, doi: 10.1093/gji/ggs062.
- Amoruso, A., Crescentini, L., Scarpa, R., 2002. Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data, *J. Geophys. Res.*, 107, doi:10.1029/2001JB000434.
- Barreca, G., Gross, F., Scarfi, L., Aloisi, M., Monaco, C., Krastel, S., 2021. The Strait of Messina: Seismotectonics and the source of the 1908 earthquake. *Earth-Science Reviews*, 218, 103685, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0012825221001860>.
- Boschi, E., Pantosti, D., Valensise, G., 1989. Modello di sorgente per il terremoto di Messina del 1908 ed evoluzione recente dell'area dello Stretto, *Atti VIII Convegno G.N.G.T.S.*, Roma, 245-258.
- Bottari, A., Carapezza, E., Carapezza, M., Carveni, P., Cefali, F., Lo Giudice, E., Pandolfo C., 1986. The 1908 Messina Strait earthquake in the regional geostructural framework, *Journal of Geodynamics*, 5, 275-302.
- Capuano, P., De Natale, G., Gasparini, P., Pingue, F., Scarpa R., 1988. A model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake by inversion of leveling data, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 78, 1930-1947.
- De Natale, G., Pingue, F., 1991. A variable slip fault model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake, by inversion of leveling data, *Geophys. J. Int.*, 104, 73-84.
- Dogliani, C., Innocenti, F. Mariotti, G., 2001. Why Mt Etna? *Terra Nova*, 13, 25-31.
- Facenna, C., Becker, T. W., Lucente, F., Jolivet, L., Rossetti, F. 2001. History of subduction and back-arc extension in the central Mediterranean, *Geophys. J. Int.*, 145, 809-820, doi:10.1046/j.0956-540x.2001.01435.x.
- Gvirtzman, Z., Nur, A., 1999. Plate detachment, asthenosphere upwelling, and topography across subduction zones. *Geology*; 27 (6), 563-566.
- Loperfido, A., 1909. Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'I.G.M. sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Catania, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo. In: *Relazione della Commissione Reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti*, pp.131-156, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Mattia, M., Palano, M., Bruno, V., Cannavò, F., 2009. Crustal motion along the Calabro-Peloritano Arc as imaged by twelve years of measurements on a dense GPS network, *Tectonophysics*, 476, 528-537.
- Meschis, M., Roberts, G. P., Mildon, Z. K., Robertson, J., Michetti, A. M., Faure Walker, J. P. 2019. Slip on a mapped normal fault for the 28th December 1908 Messina earthquake (Mw 7.1) in Italy. *Scientific Reports*, 9, 1-8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42915-2>.

- Mulargia, F., Boschi, E., 1983. The 1908 Messina earthquake and related seismicity, in Earthquakes: observation, theory and interpretation, edited by H. Kanamori and E. Boschi, Proc. Int. Sch. Phys. Enrico Fermi, Course LXXXV, 493-518.
- Ridente, D., Martorelli, E., Bosman, A., Chiocci, F. L., 2014. High-resolution morpho-bathymetric imaging of the Messina Strait (Southern Italy). New insights on the 1908 earthquake and tsunami. *Geomorphology* 208, 149–159 (2014).
- Schick, R., 1977. Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908. *Geologisches Jahrbuch, Reihe E* 11, 74 pp.
- Serpelloni, E., Bürgmann, R., Anzidei, M., Baldi, P., Mastrolembo, B., Boschi, E., 2010. Strain accumulation across the Messina Straits and kinematics of Sicily and Calabria from GPS data and dislocation modeling, *Earth planet. Sci. Lett.*, 298 (3–4), 347–360.
- Valensise, G., Pantosti, D., 1992. A 125-Kyr-long geological record of seismic source repeatability: the Messina Straits (southern Italy) and the 1908 earthquake (MS 71/2), *Terra Nova*, 4, 472-483.

Didascalie delle figure:

Fig. 1 - Carta delle isosisme del terremoto del 28 dicembre 1908 (Mercalli, 1909). L'isosisma epicentrale raggiunge il grado XI, definito Catastrofico da Mercalli. La prima pagina de "il Telegrafo" con la notizia del terremoto del 1908 a Messina e Reggio Calabria. Vittime al porto di Messina (dal WEB).

Fig. 2 - Devastazione al porto di Messina dopo l'arrivo dell'onda di maremoto (dal WEB).

Fig. 3 - Modelli precedenti sulla faglia sismogenetica dell'evento sismico del 1908 (vista da sud), basati prevalentemente sull'inversione dei dati di livellazione di Loperfido (modificata da Barreca et al., 2021).

Fig. 4 – La W-Fault responsabile del terremoto del 1908 mappata lungo l'asse dello Stretto di Messina ed in Calabria meridionale (modificata da Barreca et al., 2021). La stella gialla rappresenta l'epicentro del terremoto. In evidenza l'area di maggior danneggiamento (da Baratta, 1910; Boschi, 1995; Monaco & Tortorici, 2007).

Fig. 5 – Linea sismica da Messina a Reggio Calabria mostrante la faglia responsabile del terremoto (linea rossa) che deforma chiaramente i sedimenti al di sotto del fondale marino ed il fondo marino stesso (modificata da Barreca et al., 2021).