

## Effetti geologici dei terremoti, tettonica attiva nello Stretto e.. uno sguardo dal ponte

Eutizio Vittori - *Consulente e Associato CNR-IGG Firenze*

Il collegamento con un ponte tra la Sicilia e la Calabria attraverso lo Stretto di Messina rappresenta una notevole sfida progettuale, sia per la distanza tra le due sponde che per la mobilità tettonica dell'area. La Relazione del Gruppo di Lavoro nell'ambito della Struttura Tecnica di Missione del Ministero delle Infrastrutture e della Mobilità sostenibili<sup>1</sup> evidenzia chiaramente, anche se in modo molto sintetico, le sfide in campo geologico, in particolare quelle relative a sismicità e tettonica. Lo scopo di questo intervento è quello di riassumere prima in breve le pericolosità relative alla fagliazione superficiale, e sintetizzare quindi gli effetti dei terremoti storici nello Stretto e lo stato delle conoscenze relative alla sismotettonica locale.

Nell'ultimo decennio, la normativa tecnica italiana si è andata adeguando a quella internazionale ed a quella specifica del nucleare, riconoscendo l'elevata pericolosità associata alle rotture cosismiche del terreno. Si vedano ad esempio gli studi di microzonazione sismica e le linee guida adottate dalla Direzione dighe del ministero (e.g., Basili et al. 2017). Nelle NTC-2018 non vi è però accenno all'interazione tra terreno e struttura o fondazione in corrispondenza di scorrimenti cosismici lungo faglie. Questo causa una certa preoccupazione nel momento in cui le nuove verifiche progettuali siano condotte solo sulla base dell'ottemperanza alle NTC-18 in un territorio dove non manca l'evidenza scientifica, e storica, di eventi di fagliazione superficiale cosismica.

Esiste un'ampia casistica mondiale di danneggiamento di infrastrutture causato da fagliazione superficiale e, più in generale, dallo scuotimento sismico in condizioni di *near-field*. Effetti ambientali primari e secondari, e.g., Serva et al. (2016), possono comunque verificarsi anche ad una certa distanza dall'epicentro. Nella Figura 1 sottostante sono mostrati alcuni esempi relativi al terremoto di Chi-Chi (Taiwan) nel 1999 (Mw 7,6). Si tratta di immagini molto note, facilmente reperibili in rete e su pubblicazioni tecnico-scientifiche. Lo scorrimento inverso cosismico della faglia ha raggiunto i 10 metri, misura certamente superiore a quelle attese ovunque in Italia (comunque nell'ordine di alcuni metri), ma permette di capire il tipo di impatto da attendersi. Danneggiamenti simili sono stati osservati per altri recenti forti terremoti, es. Izmit (Turchia) nel 1999 (Mw 7,6) e Wenchuan (Cina) nel 2008 (Mw 7,9). Danni significativi legati a rotture cosismiche sono avvenuti anche per eventi sismici di magnitudo, e quindi rigetto, inferiore. Si osserva infatti una proporzionalità diretta tra magnitudo e rigetto/lunghezza della fagliazione superficiale cosismica (e.g., Wells & Coppersmith 1994). Ad esempio, in Italia, le rotture associate ai terremoti de L'Aquila (2009, Mw 6,3), Irpinia (1980, Mw 6,9), Umbria-Marche (2016, Mw 6,6) hanno danneggiato, anche irreparabilmente (es., galleria Pavoncelli dell'Acquedotto Pugliese, 1980), acquedotti e gallerie (Figura 3). Si noti che non solo la rottura del terreno in corrispondenza della struttura sismogenica provoca danni, ma anche le riattivazioni lungo strutture secondarie, collegate al piano principale di rottura, o addirittura svincolate strutturalmente da questo (rottura simpatetica, *triggered faulting* in Fig. 2).

---

<sup>1</sup> <https://www.mit.gov.it/sites/default/files/media/notizia/2021-05/Relazione%20-%20GdL%20Attraversamento%20stabile%20stretto%20%281%29.pdf>

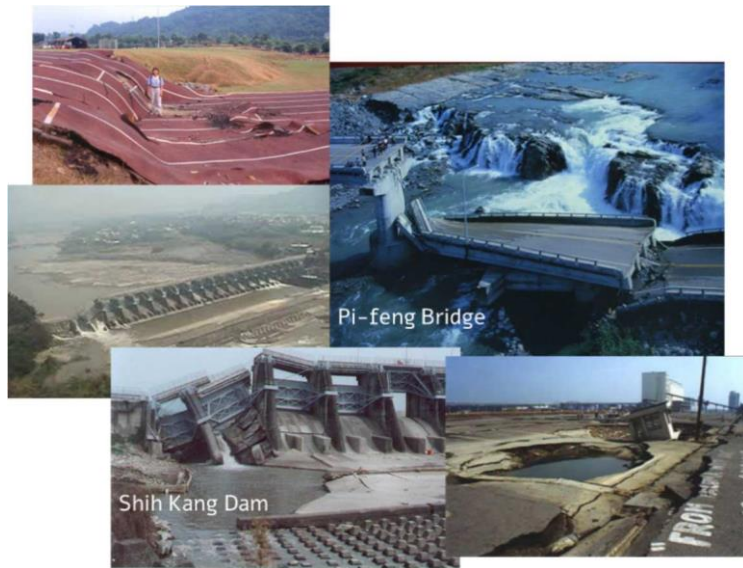


Figura 1. Esempi di danneggiamento di ponti e dighe dovuti a fagliazione superficiale durante il terremoto di Chi-Chi (Taiwan) nel 1999. In basso a destra è invece un esempio di danno causato da liquefazione in una struttura portuale

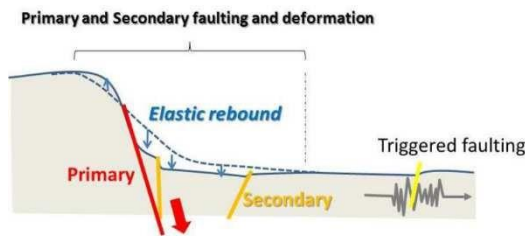


Figura 2. Rappresentazione schematica della distribuzione di fagliazione secondaria (secondary) e simpatetica (triggered faulting) rispetto alla faglia principale (primaria) struttura lungo cui si concentrano le dislocazioni maggiori (IAEA, 2021).



Figura 3. Esempi di danni a infrastrutture dovuti a fagliazione superficiale.

nonostante la modesta magnitudo, ampie fratture si sono aperte nel suolo, danneggiando localmente dei canali irrigui.

Nello Stretto, eventi sismici di forte magnitudo ( $\geq 7$ ) sono storicamente noti (già Strabone nella Geografia, Libro 6, ne parla). Ai terremoti meglio conosciuti, 1693, 1783 e 1908, furono associati, oltre ai crolli nei centri abitati causati dallo scuotimento del suolo, fenomeni geologici (fratture del terreno, frane, liquefazioni e onde di maremoto) che contribuirono non poco alla devastazione. Per resoconti dettagliati di questi eventi si vedano ad esempio il CFTI5Med (Guidoboni et al. 2019).

Anche fenomeni secondari come la liquefazione possono avere dimensioni tali da causare danni significativi, quando avvengono in corrispondenza di strutture. In Figura 4 è mostrato un esempio relativo al terremoto dell'Emilia nel 2012 (Mw 5,9) dove,



Figura 4. Liquefazione a San Carlo (Reggio Emilia) per il terremoto del 2012 (Mw 5,9).

Deformazione del suolo e liquefazione sono ricordati per il 1693 tra Messina e Torre del Faro (e.g., Barbano e Cosentino 1981), ma la documentazione più ampia di effetti geologici primari e secondari è disponibile per la

sequenza sismica del 1783 ed il terremoto del 1908. Del primo si hanno vivide rappresentazioni di liquefazioni e frane nelle testimonianze coeve, nonché la testimonianza della riattivazione della Faglia di Cittanova per almeno 25 km da parte di vari testimoni (tra i quali De Dolomieu 1784) (Galli & Bosi 2002, con bibliografia) (Figura 5). Un devastante tsunami, le cui onde raggiunsero la parte settentrionale dello Stretto con *run-up* fino a 6 metri a Peloro e 2 a Messina, fu causato da una frana di crollo sul mare presso Scilla (<https://tsunamiarchiveservices.ingv.it/emtc.2.0/report/121>).

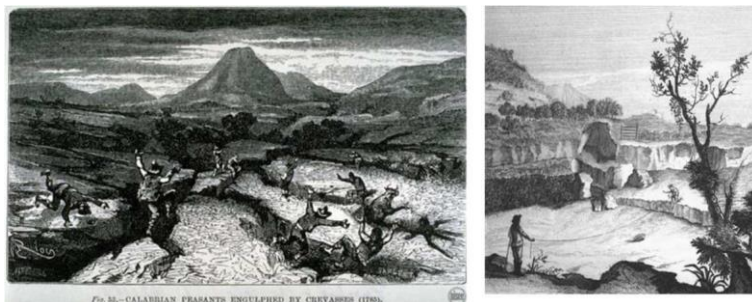


Figura 5. Fratture del suolo e faglia di Cittanova come disegnata da Schiantarelli.

Il terremoto del 1908 è quello per il quale si hanno più dati sugli effetti geologici (vedere Comerci et al. 2015 per una rassegna completa). Numerose fratture del suolo, liquefazioni, variazioni morfologiche della costa furono osservate sui due lati dello Stretto, anche se l'evento più vistoso fu il devastante maremoto, con *run-up* superiori a 10 m (11,7 m a S. Alessio). Tra gli effetti più noti e oggetto di varie elaborazioni ed interpretazioni talora divergenti vi è certamente la deformazione cosismica del suolo rivelata dalla livellazione geodetica di Loperfido (1909). Da questo dato infatti, unito a indagini a mare, analisi dei terrazzi marini ed altri indizi geomorfologici, sono stati ricavati vari modelli riguardanti la tettonica dell'area, ed in particolare la posizione e geometria della faglia responsabile del terremoto (e.g., Meschis et al. 2019; Barreca et al. 2021; Argnani & Pino 2023).

Quello che appare ormai certo è che la faglia responsabile del terremoto del 1908 si trova al di sotto dello Stretto tra Messina e Reggio Calabria. Anche se è possibile, come indicano vari modelli, che il sisma sia stato generato da una faglia "cieca" a basso angolo immergente a sudest (vedi ad esempio DISS Working Group 2021), il fondo marino è stato certamente interessato da una rottura di molti chilometri, almeno 35-40, con un rigetto di metri (> 1m in media, massimo 2,6 m, secondo Wells & Coppersmith 1994) per poter generare l'onda di maremoto osservata (Figura 6).

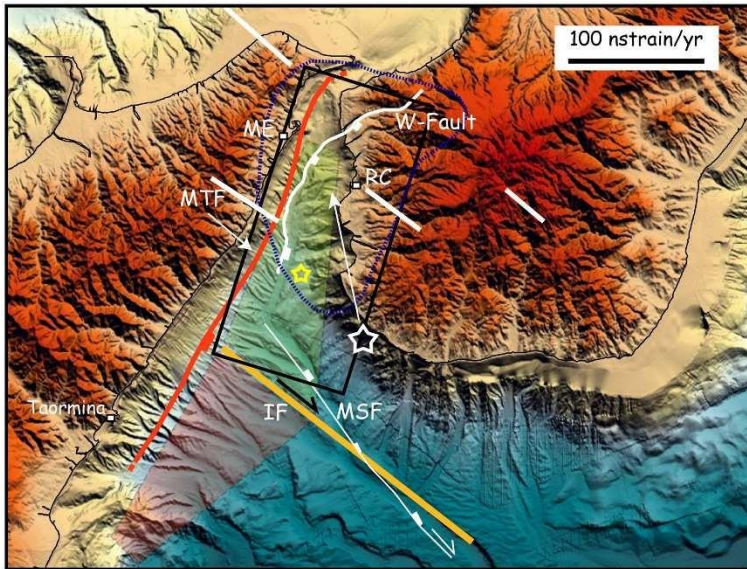


Figura 6. Ipotesi di faglia del terremoto del 1908 (da Argnani e Pino 2023). In rosso la faglia di Meschis et al. (2019), in bianco la faglia di Barreca et al. (2021). Il rettangolo nero corrisponde alla sorgente proposta da Boschi et al. (1989) e ripresa dal DISS (sorgente ITIS013 - Messina Straits).

In Figura 7 vi è una compilazione di faglie mappate nella zona nord dello Stretto. Qualunque ipotesi di attraversamento deve fare i conti con la pericolosità da

fagliazione superficiale, senza trascurare la liquefazione, anche se più facile da considerare, sia per l'opera principale che per tutte quelle "accessorie" (es., svincoli stradali, gallerie).

Ad oggi, non è chiaro se la struttura sismogenica si interrompa a nord o come prosegue; la faglia principale curva entrando in terraferma come in Barreca et al. (2021) o prosegue verso nord? Nel primo caso, come interagisce con le sorgenti del 1783, immergenti a NW?

In sintesi, questi sono i quesiti principali cui va risposto:

- Ci sono faglie che interagiscono con le opere?
- Se sì, dove sono esattamente?
- Quale geometria?
- Che rigetti e cinematica avranno in caso di riattivazione cosismica?
- (Approccio deterministico o probabilistico?)

La principale sorgente di pericolosità geologica sismoindotta riguarda quindi la deformazione permanente del suolo (effetti primari e secondari). Ma non va dimenticato che lo scuotimento sismico in condizioni di *near-field* è caratterizzato da effetti di direttività ed amplificazione delle componenti verticali, fortemente controllate da distanza, geometria e cinematica della sorgente sismogenica.

In conclusione, l'area dello stretto è senza dubbio ad elevata pericolosità sismica, con  $M_w$  osservate  $> 7$ . I principali effetti geologici dei due terremoti più recenti e meglio documentati (1783, 1908) sono stati: Fagliazione superficiale (1783) e deformazione cosismica (1908, livellazione Loperfido), Liquefazioni, Frane Maremoto.

Nonostante i numerosi studi pubblicati nell'ultimo decennio, vi è una perdurante assenza di un quadro chiaro e condiviso relativo a faglie capaci e sorgenti sismogeniche (faglie principali offshore e/o cieche). Appare indispensabile un nuovo programma di indagini sismotettoniche e paleosismologiche a supporto del progetto del ponte (e.g., Jia et al. 2021), con un dettaglio, tenuto conto della scala delle opere, almeno paragonabile a quello della microzonazione di III livello. Infine, in attesa di una normativa nazionale specifica riguardo la pericolosità da fagliazione superficiale per le grandi opere, si potrebbe fare riferimento alle linee guida per le grandi dighe e, in campo internazionale, alle guide tecniche IAEA (e.g., IAEA SSG9 2021).

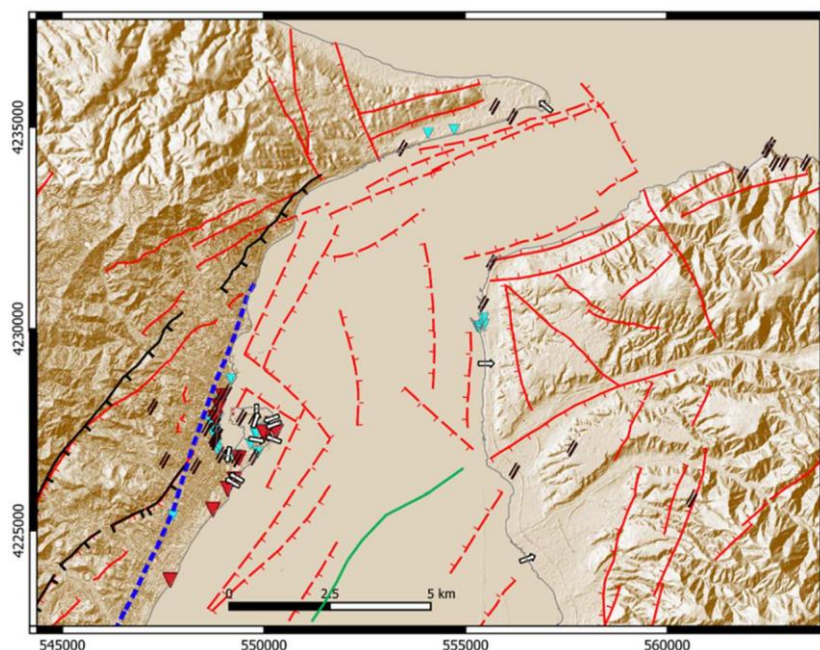


Figura 7. Faglie nell'area dello Stretto da varie fonti, inclusa ITHACA (ITHACA Working Group, 2019)). In verde la faglia di Barreca et al. (2021). Sono mostrati anche gli effetti di fratturazione e movimento del suolo registrati nel 1908.

## Bibliografia

- Argnani A., Pino N.A. (2023). The 1908 Messina Straits Earthquake: Cornerstones and the Need to Step Forward. *Seism. Res. Let.*, 94 (2A), 557-561, <https://doi.org/10.1785/0220220355>.
- Barbano, M.S., M. Cosentino (1981). Il terremoto siciliano dell'11 Gennaio 1693. *Rend. Soc. Geol. It.* 4, 517-522.
- 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 Sci. Rev.* 218, 103685 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103685>.
- Basili R., D'Amico V., Meletti C., Valensise G. (2017). Linee-guida per la redazione e le istruttorie degli studi sismotettonici relativi alle grandi dighe. Direzione Generale per le Dighe e le Infrastrutture Idriche ed Elettriche del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti e INGV.
- Comerci, V., Vittori, E., Blumetti, A.M., Brustia, E., Di Manna, P., Guerrieri, L., Lucarini, M., Serva, L. (2015). Environmental effects of the December 28, 1908, Southern Calabria–Messina (Southern Italy) earthquake. *Nat. Hazards* 76 (3), 1849-1891. DOI: 10.1007/s11069-014-1573-x.
- DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/diss3.3.0>.
- Galli, P., V. Bosi (2002). Paleoseismology along the Cittanova fault: Implications for seismotectonics and earthquake recurrence in Calabria (southern Italy). *J. Geophys. Res.*, 107(B3), 2044, doi:10.1029/2001JB000234.
- Guidoboni E., Ferrari G., Tarabusi G., Sgattoni G., Comastri A., Mariotti D., Ciuccarelli C., Bianchi M.G., Valensise G. (2019). CFT15Med, the new release of the catalogue of strong earthquakes in Italy and in the Mediterranean area, *Scientific Data* 6, Article number: 80. doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0091-9>
- IAEA SSG9 (2022). Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-9 (Rev.1), IAEA, Vienna. <https://www.iaea.org/publications/14665/seismic-hazards-in-site-evaluation-for-nuclear-installations>.
- ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019. ISPRA Geological Survey of Italy. Web Portal <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/Mappatura.aspx>
- Jia H., Kang Jia, Caizhi Sun, Yanqiang Li, Chao Zhang, Shixiong Zheng (2021). Preliminary numerical study on seismic response of ordinary long-span suspension bridges crossing active faults. *Advances in Bridge Engineering*, 2:16, <https://doi.org/10.1186/s43251-021-00035-w>
- 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. *Sci. Rep.* 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-42915-2>.
- Serva L., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Guerrieri L., Michetti A.M., Mohammadioun B., Porfido S., Tatevossian R. (2016). Earthquake hazard and the Environmental Seismic Intensity (ESI) scale. *Pure and Applied Geophysics*, 173 (5), 1479-1515, DOI 10.1007/s00024-015-1177-8
- Wells D.L., Coppersmith K.J. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84(4), 974-1002.