

## Sismicità nell'area dello Stretto di Messina e risvolti di carattere applicativo

Giancarlo Neri

Le conoscenze in campo sismologico si evolvono con una certa rapidità ed è opportuno tenerne conto nelle fasi di progettazione di una qualunque opera ingegneristica, a partire dalle costruzioni ricadenti negli ambiti dell'edilizia ordinaria sino alle cosiddette Grandi Opere, tra le quali evidentemente si colloca il Ponte per l'attraversamento stabile dello Stretto di Messina. In questa nota vengono brevemente richiamati alcuni progressi conoscitivi realizzatisi negli ultimi 10-15 anni in campo sismologico, sia in riferimento agli aspetti metodologici di carattere generale, sia per quanto concerne specificatamente le fenomenologie che interessano l'area dello Stretto di Messina.

Seguiamo il percorso ideale che prende il via con il processo di accumulo di sforzo tettonico nei materiali litosferici, prosegue con il processo di dislocazione sul piano di faglia e conduce, dunque, al processo di radiazione sismica con propagazione ondosa dal luogo di radiazione (sorgente sismica) al suolo. Negli anni più recenti il progresso scientifico ha interessato tutti gli *step* di tale percorso.

Si è evoluta la conoscenza dei campi di sforzo presenti nella porzione di litosfera tirrenica che costituisce lo strato più superficiale (spesso circa 20-25 km) della regione comunemente nota come Arco Calabro-Peloritano, contenente al suo interno l'area dello Stretto di Messina. I campi di sforzo rappresentano le azioni che determinano i processi di dislocazione sismica sui piani di debolezza (faglie) presenti nella litosfera, dunque la loro accurata conoscenza costituisce un prerequisito essenziale per caratterizzare i processi di dislocazione ed i conseguenti rilasci di energia sotto forma di onde sismiche. Progressi significativi nella definizione del campo di stress sismogenetico presente nella litosfera tirrenica dell'area dello Stretto di Messina sono stati conseguiti recentemente con lo studio di Totaro et al. (2016) i quali hanno stimato un tensore degli sforzi a carattere distensivo con asse di sforzo compressivo minimo orientato N120°E.

L'intenso e prolungato dibattito della comunità scientifica nazionale ed internazionale sulla "sorgente" del terremoto del 1908, l'evento energeticamente più rilevante nella storia dell'area dello Stretto, è proseguito in quest'ultimo decennio mostrando un avvicinamento delle posizioni dei vari studiosi verso una sorgente con orientazione tra N-S e NNE-SSW, inclinazione verso oriente, lato superiore in corrispondenza del versante siciliano dell'area dello Stretto e meccanismo di faglia normale (v. ad es. DISS, 2021). Permangono comunque significative incertezze sui singoli parametri della sorgente, peraltro cruciali per i successivi calcoli del *ground shaking* prodotto

dall'attivazione della stessa. L'ultimo decennio ha altresì segnato l'individuazione di altre sorgenti sismiche potenziali nell'area dello Stretto o nelle immediate adiacenze, vedere ad es. la Messina Strait Fault, lo Scilla Fault System e la Capo Peloro Fault indicate da Doglioni et al. (2012).

Varie metodologie sono disponibili per il calcolo del moto del suolo conseguente l'attivazione di una faglia e sono generalmente basate su una rappresentazione semplificativa della sorgente: il piano di faglia, sorgente del terremoto, viene suddiviso in elementi di superficie (sottosorgenti) e le radiazioni sismiche generate dalle singole sottosorgenti ed in arrivo al suolo si sommano al sito di interesse con ritardi temporali che tengono conto dei tempi di propagazione della frattura sulla faglia e, dunque, dei tempi di attivazione differenziati delle singole sottosorgenti. Una famiglia di tali metodologie (v. ad es. Boore, 2009 e 2014) utilizza un approccio misto, in parte deterministico (trasferimento dello spettro del segnale dalla sottosorgente al suolo) ed in parte stocastico (generazione "gaussiana" della *time history* del segnale). Il segnale prodotto alla singola sottosorgente è fissato attraverso uno spettro  $\omega^2$  e si usano relazioni empiriche (durata-distanza, spreading geometrico, attenuazione anelastica) per trasferire il segnale dalla sottosorgente al sito di interesse sul suolo. Il processo stocastico consente la generazione "gaussiana" della *time history* del segnale, dal "sottostante" spettro della sottosorgente. Le *time histories* relative alle singole sottosorgenti vengono sommate con i ritardi temporali appropriati. Altra famiglia di metodologie è quella basata sull'integrazione dei campi di frequenza (v. ad es. Faccioli et al., 2007; Stretto di Messina spa, 2010). La logica di tali metodi è quella di effettuare i calcoli degli spostamenti sismici del suolo separatamente per le basse (0-1 Hz) e per le alte frequenze (1-10 Hz), e poi di combinare i rispettivi risultati al sito di interesse. Nel *range* delle basse frequenze i calcoli sono eseguiti con metodi FEM (COMPSYN; Spudich and Xu, 2002) ed utilizzo delle Green's Functions (Hisada e Bielak, 2003), mentre nel *range* delle alte frequenze vengono adottati approcci ibridi stocastici-deterministici (DSM, Pacor et al., 2005). Altre metodologie (Parvez et al., 2010; Panza et al., 2012) sono basate sull'impiego di tecniche di *modal summation* ed utilizzo delle Funzioni di Green. Gli studi condotti nell'ultimo decennio (e.g. Panza et al., 2012; Zonno et al., 2012) hanno evidenziato una notevole variabilità delle oscillazioni sismiche calcolate al suolo, al variare dei parametri della sorgente sismica nei limiti delle incertezze di questi ultimi. Ciò consiglia appropriate verifiche di stabilità dei risultati delle simulazioni, in modo particolare quando si affrontano problemi di tipo ingegneristico o comunque con implicazioni per la sicurezza delle persone.

Altra evidenza scaturita dai più recenti studi (Madariaga et al., 2019) è la potenziale inadeguatezza dell'assunzione usuale di spettro di spostamento «tipo omega-2» quando si esegue la simulazione del moto del suolo nel *near-field* dei forti terremoti, con particolare riferimento alle componenti a bassa frequenza. Non ultimo, gli studi più recenti hanno ulteriormente consolidato una conoscenza già disponibile da tempo, riguardante il rapporto tra ampiezza della componente verticale ed ampiezza della componente orizzontale del moto sismico del suolo. Tale rapporto (generalmente posto

al di sotto dell'unità nella formulazione delle normative tecniche per le costruzioni adottate in molti Paesi) risulta spesso largamente superiore all'unità in siti ubicati entro 5 km dalla sorgente sismica di forti terremoti (v. ad es. Shrestha, 2009). Un aggiornamento della normativa italiana è intervenuto, anche a tal riguardo, nel 2018 (G.U.R.I., 2018).

## **Bibliografia**

Boore, D. M. (2009). Comparing stochastic point-source and finite-source ground-motion simulations: SMSIM and EXSIM, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 99, 3202–3216.

Boore, D. M. (2014). What do data used to develop ground-motion prediction equations tell us about motions near faults? *Pure Appl. Geophys.* 171, 3023–3043.

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>

Dogliani, C., Ligi, M., Scrocca, D., Bigi, S., Bortoluzzi, G., Carminati, E., Cuffaro, M., D'Orlando, F., Forleo, V., Muccini, F., and F., Riguzzi. (2012). The tectonic puzzle of the Messina area (Southern Italy): Insights from new seismic reflection data. *Sci. Rep.*, 2(1), 1-9.

Faccioli, E., 2007. Prediction of ground motion and loss scenarios for selected infrastructure systems in European urban environments. IUSS Press.

G.U.R.I., 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana*, Martedì, 20 febbraio 2018.

Hisada, Y, e J. Bielak (2003). A theoretical method for computing near-fault ground motions in layered half-spaces considering static offset due to surface faulting, with a physical interpretation of fling step and rupture directivity. *Bulletin Seismological Society of America*, vol. 93, n. 3, pp. 1154-1168.

Madariaga R., Ruiz S., Rivera E., Leyton F., 2019. Near-field Spectra of Large Earthquakes. *Pure and Applied Geophysics*, DOI: 10.1007/s00024-018-1983

Pacor F., Cultrera G., Mendez A., Cocco M., 2005. Finite Fault Modeling of Strong Ground Motions Using a Hybrid Deterministic–Stochastic Approach. *Bulletin of the Seismological Society of America* 95 (1): 225–240.

Panza, G.F., La Mura, C., Peresan, A., Romanelli, F., Vaccari, F. (2012). Seismic Hazard Scenarios as Preventive Tools for a Disaster Resilient Society. In R. Dmowska (Ed.), *Advances in Geophysics*, Elsevier, London, 93–165.

Parvez I. A., Romanelli F., Panza G., 2010. Long Period Ground Motion at Bedrock Level in Delhi City from Himalayan Earthquake Scenarios. *Pure and Applied Geophysics*, DOI: 10.1007/s00024-010-0162-5

Shrestha, B., 2009. Vertical ground motions and its effect on engineering structures: a state-of-art review. *International Seminar on Hazard Management for Sustainable Development, Katmandu, November 29-30, 2009*.  
<https://www.researchgate.net/publication/233922546>.

Stretto di Messina s.p.a., 2010. The Messina Strait Bridge. A challenge and a dream. Chapter 5.2 – Seismic hazard and design earthquakes. CRC Press.

Spudich P, Xu L., 2002. Documentation of Software Package Compsyn sxv3.11: Programs for Earthquake Ground Motion Calculation Using Complete 1-D Green's Functions. CD accompanying *International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology*, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior. Academic Press.  
[https://www.researchgate.net/publication/260423574\\_Documentation\\_of\\_Software\\_Package\\_Compsyn\\_sxv311\\_Programs\\_for\\_Earthquake\\_Ground\\_Motion\\_Calculation\\_Using\\_Complete\\_1-D\\_Green's\\_Functions#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/260423574_Documentation_of_Software_Package_Compsyn_sxv311_Programs_for_Earthquake_Ground_Motion_Calculation_Using_Complete_1-D_Green's_Functions#fullTextFileContent)

Totaro, C., Orecchio, B., Presti, D., Scolaro, S., Neri, G. (2016). Seismogenic Stress Field Estimation in the Calabrian Arc Region (South Italy) from a Bayesian Approach. *Geophys. Res. Lett.*, 43 (17), 8960–8969. doi:10.1002/2016GL070107

Zonno G., Basili R., Meroni F., Musacchio G., Mai P.M., Valensise G., 2012. High-frequency maximum observable shaking map of Italy from fault sources. *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 10, pages 1075–1107.