

## L'ATTENUAZIONE DELL'INTENSITÀ MACROSISMICA NELL'ISOLA VULCANICA DI ISCHIA: CONFRONTO TRA MODELLI DETERMINISTICI E PROBABILISTICI E APPLICAZIONE PER LA GENERAZIONE DI SCENARI DI DANNO

R. Azzaro<sup>1</sup>, S. D'Amico<sup>1</sup>, R. Rotondi<sup>2</sup>, E. Varini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Catania

<sup>2</sup> IMATI-CNR Istituto di Matematica Applicata e Tecnologie Informatiche, Milano

Il recente terremoto di magnitudo  $M_d$  4, accaduto il 21 agosto 2017 nell'isola di Ischia, sebbene di modesta energia, ha prodotto danni fino al VIII grado EMS (Azzaro *et al.*, 2017), nella parte alta dell'abitato di Casamicciola. Le caratteristiche macrosismiche di questo evento – concentrazione dei danni e loro gravità, fortissima attenuazione dell'intensità a distanze anche molto ridotte – sono quelle tipiche dei terremoti superficiali in aree vulcaniche, tra l'altro tipicamente associati a valori moderati di magnitudo.

In questi contesti geologici la valutazione dello scuotimento sismico rappresenta ancora oggi un aspetto critico. Non sono infatti utilizzabili le note relazioni adottate in ambito tettonico, che in genere comportano una sovrastima dello scuotimento atteso in funzione della distanza, ma anche una sottostima dell'intensità epicentrale attesa rispetto al valore di magnitudo osservato strumentalmente (Azzaro *et al.*, 2011).

In passato, alcune relazioni di tipo deterministico per il calcolo dell'attenuazione dell'intensità sono state proposte per le principali aree vulcaniche italiane (Azzaro *et al.*, 2006). Tra queste, quelle dell'Etna e di Ischia, in particolare, risultano essere quelle caratterizzate dalla attenuazione più forte, con un decremento di 4 gradi di intensità in circa 20 km di distanza epicentrale.

Per meglio tener conto dell'incertezza nel decadimento dell'intensità macrosismica e in accordo con l'idea che tale grandezza possa essere considerata come una variabile casuale, vari studi sono stati proposti in letteratura che utilizzano un modello di tipo beta-binomiale per stimare, in ambito bayesiano, la distribuzione di probabilità dell'intensità al sito condizionata alla distanza dall'epicentro e all'intensità epicentrale (Rotondi e Zonno, 2004). Questo approccio probabilistico è stato applicato anche alla regione vulcanica dell'Etna per la generazione di scenari di danno o per la stima della pericolosità sismica (Azzaro *et al.*, 2013, 2016).

Il primo passo in questa metodologia consiste nell'assegnazione delle distribuzioni a priori dei parametri del modello probabilistico sulla base della conoscenza che si possiede sul fenomeno - in questo caso l'attenuazione macrosismica - a partire da osservazioni precedenti, indipendenti da quelle attualmente in esame. Il complesso di questi dati ha il ruolo di "insieme d'apprendimento" e la sua identificazione è un punto chiave in questa metodologia. Nel caso dell'Italia la ricchezza di dati macrosismici permette di riconoscere diversi *trend* di attenuazione; a tal fine Zonno *et al.* (2009) proposero di applicare una procedura di *clustering* a 55 campi macrosismici del DataBase Macrosismico Italiano allora disponibile (DBMI04), rappresentativi della distribuzione spazio-temporale della sismicità in Italia, per individuare classi di campi omogenei dal punto di vista dell'attenuazione, da utilizzare come insiemi di apprendimento in studi successivi. Poiché il decadimento dipende dalle caratteristiche geologiche dei terreni attraversati, non tutte disponibili o facilmente misurabili, l'associazione in *cluster* dei campi macrosismici è basata sulla distribuzione spaziale del decadimento dell'intensità.

Nel progetto europeo UPStrat-MAFA (Sigbjörnsson *et al.*, 2016), la stima probabilistica dell'intensità al sito secondo l'approccio bayesiano è stata raffinata considerando come "insieme di apprendimento" l'intera banca dati DBMI11; i modelli così ottenuti per diversi *trend* di attenuazione sono stati applicati ai campi macrosismici delle regioni sismiche europee di Islanda, Portogallo, Spagna e in Italia all'area vulcanica dell'Etna (Rotondi *et al.*, 2016).

In questo lavoro vengono discusse le problematiche relative all'attenuazione dell'intensità macrosismica per l'area vulcanica di Ischia, che il recente evento del 21 agosto ha messo drammaticamente in luce, e presentati i risultati delle analisi effettuate sulla versione più

aggiornata del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15, Rovida *et al.*, 2016). A tal fine l'esame della banca dati macrosismica DBMI15 (Locati *et al.*, 2016) ha evidenziato, per l'isola di Ischia, solo 3 (Tab. 1) terremoti per i quali sono disponibili un numero di osservazioni macrosismiche congruo per l'analisi, dato che gli eventi antecedenti al XIX sec., sebbene di intensità epicentrale maggiore o uguale a VIII MCS, hanno una sola osservazione; a questi si aggiunge il piano quotato relativo all'ultima forte scossa dell'agosto 2017 (Azzaro *et al.*, 2017). Complessivamente sono disponibili 78 dati di intensità distribuiti sull'intero territorio ischitano.

Questo *dataset* risulta decisamente più consistente rispetto a quello precedentemente utilizzato da Azzaro *et al.* (2006) per ricavare la prima relazione deterministica. Allo stesso tempo l'intera banca dati DBMI15 rappresenta una opportunità come nuovo "insieme di apprendimento" nell'analisi probabilistica per ricavare, dai campi della classe che mostra il più rapido decadimento dell'intensità, le distribuzioni a priori dei parametri del modello beta-binomiale. In seguito i parametri sono stati opportunamente scalati per tener conto delle specifiche caratteristiche attenuative delle aree vulcaniche, e poi aggiornati utilizzando i terremoti etnei e di quelli che hanno colpito Ischia in passato.

La fase di validazione dei modelli di attenuazione ottenuti include la stima retrospettiva e predittiva dello scenario generato da un evento di intensità VIII, e il suo confronto con lo scenario realmente osservato in occasione del recente terremoto del 21 agosto 2017.

Tab. 1 - Terremoti utilizzati per l'analisi dell'attenuazione macrosismica (da CPTI15). \* valore strumentale, soluzione automatica del TDMT (<http://cnt.rm.ingv.it/event/16796811>).

Data	Intensità Epicentrale $I_0$	Magnitudo Momento $M_w$	N. osservazioni macrosismiche
2 feb 1828	VIII-IX	4.0	10
4 mar 1881	IX	4.1	17
28 lug 1883	IX-X	4.3	27
21 ago 2017	VIII	3.8*	24

## Bibliografia

- Azzaro R., Barbano M.S., D'Amico S., Tuvè T.; 2006: *The attenuation of seismic intensity in the Etna region and comparison with other Italian volcanic districts*. Annals of Geophysics, **49**, 1003-1020.
- Azzaro R., D'Amico S., Rotondi R., Tuvè T., Zonno G.; 2013: *Forecasting seismic scenarios on Etna volcano (Italy) through probabilistic intensity attenuation models: A Bayesian approach*. Journal of Volcanology and Geothermal Research, **251**, 149-157, doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.07.011.
- Azzaro R., D'Amico S., Tuvè T.; 2011: *Estimating the magnitude of historic earthquakes from macroseismic intensity data: new relationships for the volcanic region of Mount Etna (Italy)*. Seismol. Res. Lett., **82**, 533-544.
- Azzaro R., D'Amico S., Tuvè, T.; 2016: *Seismic hazard assessment in the volcanic region of Mt. Etna (Italy): a probabilistic approach based on macroseismic data applied to volcano-tectonic seismicity*. Bull. Earth. Eng., **17** (7), 1813-1825.
- Azzaro R., Del Mese S., Graziani L., Maramai A., Martini G., Paolini S., Screpanti A., Verrubbi V., Arcoraci L., Tertulliani A.; 2017: *QUEST- Rilievo macrosismico per il terremoto dell'isola di Ischia del 21 agosto 2017. Rapporto finale*. Rapporto interno, doi:10.5281/zenodo.886047.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E.; 2016: *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:10.6092/INGV.IT-DBMI15.
- Rotondi R., Varini E., Brambilla C.; 2016: *Probabilistic modelling of macroseismic attenuation and forecast of damage scenarios*. Bulletin of Earthquake Engineering, **14**, 1777-1796, doi:10.1007/s10518-015-9781-7.
- Rotondi R., Zonno G.; 2004: *Bayesian analysis of a probability distribution for local intensity attenuation*. Annals of Geophysics, **47** (5), 1521-1540.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds); 2016: *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:10.6092/INGV.IT-CPTI15.

- Sigbjörnsson R., Zonno G., Oliveria C.S.; 2016: *Foreword to the special issue: the European project UPStrat-MAFA (Urban disaster prevention strategies using MACroseismic Fields and FAult Sources)*. Bulletin of Earthquake Engineering, **14**, 1773-1776, doi: 10.1007/s10518-016-9924-5.
- Zonno G., Rotondi R., Brambilla, C; 2009: *Mining macroseismic fields to estimate the probability distribution of the intensity at site*. Bulletin of the Seismological Society of America, **95** (5), 2876-2892.

## HETEROGENEOUS SLIP DISTRIBUTION ON FAULTS RESPONSIBLE FOR LARGE EARTHQUAKES: CHARACTERIZATION AND IMPLICATIONS FOR TSUNAMI MODELLING

E. Baglione, A. Armigliato, S. Tinti

Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA), Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Italy

The fact that ruptures on the generating faults of large earthquakes are strongly heterogeneous has been demonstrated over the last few decades by a large number of studies. The on-fault slip tends to concentrate in “patches” over the fault surface, whose number, dimension and relative position is highly variable. Two clear examples of this variability are provided by the Sumatra-Andaman earthquake of 26 December 2004 ( $M_w=9.1$ ) and the Tohoku earthquake of 11 March 2011 ( $M_w=9.0$ ) (e.g., Geist *et al.*, 2007; Løvholt *et al.*, 2012; Goda *et al.*, 2014).

The slip heterogeneity has immediate consequences on the seismic radiation field as well as on the permanent (co-seismic) deformation of the Earth’s crust, that are very likely to differ significantly from what would be expected on the basis of a simple uniform slip. This can reflect also on other hazardous phenomena directly triggered by earthquakes, such as tsunamis, as clearly demonstrated by the above mentioned 2004 and 2011 events. In the case of earthquake-induced tsunamis, the generating mechanism is represented by the co-seismic vertical displacement of the seafloor, whose pattern is clearly dependent on the on-fault slip distribution at depth. If we take the case of the Mediterranean, where the tsunamigenic sources are often located a few/few tens of kilometres away from the coast, the effect of the slip heterogeneity in determining the tsunami wave propagation features and the run-up distribution along the coasts is critical.

Finite-Fault Models (FFMs), i.e., the matrix representations of the slip values on the fault surface, are generally retrieved through the inversion of different types of data (seismic, geodetic, tsunami-related), taken individually or simultaneously. The development and refinement of proper inversion algorithms have been a prolific research field at least in the last decade, and it has been accompanied in the last years by the systematic collection and format homogenisation of the published/proposed FFMs for different earthquakes in specifically conceived databases, such as SRCMOD (<http://equake-rc.info/SRCMOD>). At present, preliminary FFMs are made available some tens of minutes to few hours after the occurrence of large-magnitude events. Refined FFMs take much longer times.

The main aim of this study is to explore characteristic patterns of the slip distribution of large earthquakes, by using a subset of the FFMs contained in SRCMOD, covering events with moment magnitude equal or larger than 6 and occurred worldwide over the last 25 years. The possibility to recognise characteristic slip patterns can have relevant consequences both on the long-term hazard assessment and on the real-time warning in the near-field, not only for the seismic part, but also for tsunamis in case of the occurrence of large-magnitude offshore earthquakes.

We focus on those FFMs that exhibit a single and clear region of high slip (i.e., a single asperity), which is found to represent the majority of the events. For these FFMs, it sounds reasonable to best-fit the slip models by means of 2D Gaussian Distributions (GD). Two